

# AULA D'ECOLOGIA

CICLE DE CONFERÈNCIES  
2006



# AULA D'ECOLOGIA

ANNA ÀVILA I JAUME TERRADAS (EDS.)

# AULA D'ECOLOGIA

CICLE DE CONFERÈNCIES  
2006

Universitat Autònoma de Barcelona  
Servei de Publicacions  
Bellaterra, 2007

---

DADES CATALOGRÀFIQUES RECOMANADES PEL SERVEI DE BIBLIOTEQUES  
DE LA UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA

Aula d'Ecologia : cicle de conferències 2006 ; Anna Àvila, Jaume Terradas (eds.). — Bellaterra :  
Universitat Autònoma de Barcelona. Servei de Publicacions, 2007. — (Ciència i Tècnica ; 34. Ecologia)

ISBN 978-84-490-2485-6

I. Universitat Autònoma de Barcelona

II. Col·lecció

III. Àvila, Anna

IV. Terradas, Jaume

1. Medi ambient — Congressos

2. Canvis climàtics — Congressos

504(063)

---

L'Aula d'Ecologia ha estat, en els cicles del 1996 al 2006, una iniciativa de l'Ajuntament  
de Barcelona i la Universitat Autònoma de Barcelona, que ha tingut el suport,  
en la coordinació i secretaria, del Centre de Recerca Ecològica i d'Aplicacions Forestals (CREAF).

**Director de l'Aula d'Ecologia**

Jaume Terradas i Serra, catedràtic emèrit d'Ecologia de la UAB

**Coordinadors per l'Ajuntament de Barcelona**

Txema Castiella i Viu, Margarita Parés i Rifà

**Preparació dels textos (resums de les ponències)**

Anna Àvila (CREAF)

**Coordinació de les sessions**

Anna Àvila (CREAF)

**Edició i impressió**

Universitat Autònoma de Barcelona

Servei de Publicacions

08193 Bellaterra (Barcelona). Spain

Tel. 93 581 10 22. Fax 93 581 32 39

sp@uab.cat

<http://publicacions.uab.es/>

ISBN 978-84-490-2485-6

Dipòsit legal: B. 16.840-2007

Impress a Espanya. Printed in Spain

Impress en paper ecològic



Aquesta publicació no pot ser reproduïda, ni totalment ni parcialment, ni enregistrada en, o transmesa per, un  
sistema de recuperació d'informació, en cap forma ni per cap mitjà, sia fotomecànic, fotoquímic, electrònic, per  
fotocòpia o per qualsevol altre, sense el permís previ de l'editor.

# Índex

- 9-11 Pròleg, per Jaume Terradas i Serra  
13 Ponents i programa de l'Aula d'Ecologia de l'any 2006

## **Desè cicle de conferències 2006**

- 15-21 **Josep Enric Llebot**  
L'informe del canvi climàtic a Catalunya
- 23-28 **Dr. Antoni Rosell**  
Circulació oceànica i canvis abruptes en el clima: passat i futur
- 29-38 **Dr. Enric Mateu**  
Epidèmies: l'eterna amenaça
- 39-45 **Dr. Pere Santanach**  
Terratrèmols i tsunamis: avaluació geològica dels riscos
- 47-56 **Xavier Querol**  
L'aire de les ciutats: trànsit i partícules
- 57-63 **Dr. Javier Romero**  
El Mediterrani, compendi de la interacció home-medi marí
- 65-73 **Jordi Julià**  
El futur del ferrocarril en el transport a Catalunya
- 75-83 **Jordi Pietx i Jordi Sargatal**  
Conservació del territori i societat civil
- 85-91 **Dr. Xavier Aquilué**  
Les migracions humanes en l'antiguitat: lliçons per al dia d'avui

## Pròleg

Jaume Terradas i Serra

Catedràtic emèrit d'Ecologia de la Universitat Autònoma de Barcelona  
i director de l'Aula d'Ecologia

Presentem el novè volum de resums de les conferències que es fan a l'Aula d'Ecologia, que organitza l'Ajuntament de Barcelona, conjuntament amb la Universitat Autònoma de Barcelona, i amb la cooperació del Centre de Recerca Ecològica i d'Aplicacions Forestals (CREAF). Correspon a l'edició de 2006 de l'Aula, que va tenir lloc a la Casa Elizalde de Barcelona. Els resums han estat elaborats per la Dra. Anna Àvila, investigadora del CREAM, i revisats pels mateixos ponents. En aquesta ocasió, no ha estat possible incloure-hi una de les conferències per dificultats insuperables.

Les conferències no tenen un tema unitari, com ja és habitual, però toquen molts dels problemes ambientals més coents: des del canvi climàtic fins als riscos d'epidèmies, tsunamis i terratrèmols, dins la tendència escollida per l'Aula de no amagar el cap sota l'ala en el plantejament de les qüestions que poden preocupar més l'opinió pública. Era del tot ineludible que es presentessin a l'Aula les conclusions de l'Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya, promogut per la Generalitat i que el mateix director del treball, el físic Dr. Josep Enric Llebot, catedràtic de la Universitat Autònoma de Barcelona, va comentar als assistents a l'Aula fent-ne un acurat i brillant resum. Sobre el canvi climàtic, destaquem també l'aportació del Dr. Antoni Rossell, professor ICREA de l'Institut de Ciències Ambientals de la UAB, que en va examinar una de les conseqüències més potencialment importants i que atrauen més recerca en aquests moments, les que es refereixen a canvis en la circulació oceànica i especialment la possibilitat que es produeixin processos sobtats; per esbrinar-ho, el Dr. Rossell va exposar resultats de recerca sobre les reconstruccions que s'han fet de situacions de canvis sobtats en el passat.

Entre els riscos globals, un de molt notable, i en part lligat als canvis climàtics, és el de les epidèmies. El Dr. Enric Mateu, de la Facultat de Veterinària de la UAB, se'n va ocupar donant-ne una visió històrica més

que no pas prospectiva, ja que el tema de les epidèmies que poden estendre's com a resultat del canvi climàtic va ser tractat en una Aula anterior relativament recent. També correspon a l'apartat de riscos la conferència del Dr. Pere Santanach, de la Universitat de Barcelona, sobre terratrèmols i tsunamis, que va aportar una sòlida informació sobre les causes i possibilitats de predicció d'aquests fenòmens, amb nombrosos exemples al món i a Catalunya. Un altre problema ambiental que cal considerar com un risc que també es va tractar a l'Aula 2006 és el de la contaminació de l'aire a les ciutats. El Dr. Xavier Querol, investigador del CSIC a l'Institut de Ciències de la Terra «Jaume Almera», va analitzar sobretot els efectes del trànsit, i en particular la qüestió de les partícules (efectes, tipologia, mesures que s'empren en la quantificació, etc.). El Dr. Javier Romero, professor d'Ecologia de la Universitat de Barcelona, va fer una lliçó de síntesi sobre la mar Mediterrània en la qual, a més de descriure alguns mecanismes bàsics en el funcionament del sistema marí, en aquest cas va tocar temes ambientals tan importants com l'eutrofització i les invasions biològiques, amb exemples molt concrets.

La resta de conferències van tenir altres objectius, més orientats cap a estratègies i qüestions de caràcter social. L'enginyer Jordi Julià, d'Ifercat, va dissertar sobre el futur del ferrocarril a Catalunya, i va exposar d'una manera alhora crítica i engrescadora les expectatives i programacions previstes per les administracions per als pròxims decennis a casa nostra, amb referències constants a la situació en altres països i mostrant-nos en mapes les idees principals de transformació de la xarxa ferroviària catalana. Jordi Pietx i Jordi Sargatal, dues persones que han tingut un gran protagonisme en les iniciatives més importants sobre conservació de la natura a Catalunya, van abordar les possibles aportacions de la societat civil en aquest camp, especialment a partir de les experiències de la Xarxa de Custòdia del Territori i de la Fundació Territori i Paisatge i del coneixement del que s'ha fet arreu en la mateixa direcció. La seva intervenció va palesar l'enorme canvi que ja suposen aquestes iniciatives en les possibilitats i en la realitat de la conservació a Catalunya. El darrer resum que presentem és el de la conferència del Dr. Xavier Aquilué, director del Museu d'Arqueologia de Catalunya-Empúries, qui va donar una visió històrica de les migracions humanes, especialment a la conca mediterrània i territoris veïns en temps de Grècia i Roma, per extreure'n algunes idees vàlides a l'hora de reflexionar sobre els fenòmens migratoris actuals.

Com a director de l'Aula, agraeixo un any més, i ja en són onze, que s'hagi mantingut la voluntat de l'Ajuntament de Barcelona, representada per la tinent d'alcalde Imma Mayol i per la gerència del Sector de

Serveis Urbans i Medi Ambient, així com també la de la Universitat Autònoma de Barcelona, de continuar organitzant aquests cicles. Així mateix, agraeixo al públic que hagi continuat fent-los possible amb la seva assistència i participació activa en els debats. Altres agraïments són per al CREAM, per al Servei de Publicacions de la Universitat Autònoma i per a Marta Barceló i Javier Jerónimo (secretariats del CREAM i de la Unitat d'Ecologia de la UAB, respectivament). Absolutament essencial ha estat la tasca de coordinació, des de l'Ajuntament, de Txema Castiella i Margarita Parés, i, pel que fa a les sessions, d'Anna Àvila, que també s'ha ocupat de la redacció i l'edició dels resums. Finalment, no cal dir que res no hauria estat possible sense la participació, brillant, dels ponents i la presència i participació del públic.

Febrer de 2007



## Ponents i programa de l'Aula d'Ecologia de l'any 2006

### Desè cicle de conferències 2006

**Josep Enric Llebot**, Departament de Física de la UAB. Consell Assessor  
per al Desenvolupament Sostenible de la Generalitat de Catalunya  
*L'informe del canvi climàtic a Catalunya.*

**Dr. Antoni Rosell**, professor de recerca de l'ICREA a l'ICTA-UAB  
*Circulació oceànica i canvis abruptes en el clima: passat i futur.*

**Dr. Enric Mateu**, Departament de Sanitat i d'Anatomia Animals.  
Universitat Autònoma de Barcelona  
*Epidèmies: l'eterna amenaça.*

**Dr. Pere Santanach**, Departament de Geodinàmica i Geofísica.  
Universitat de Barcelona  
*Terratrèmols i tsunamis: avaluació geològica dels riscos.*

**Xavier Querol**, Institut de Ciències de la Terra «Jaume Almera». CSIC  
*L'aire de les ciutats: trànsit i partícules.*

**Dr. Javier Romero**, Departament d'Ecologia. Universitat de Barcelona  
*El Mediterrani, compendi de la interacció home-medi marí.*

**Jordi Julià**, Ifercat  
*El futur del ferrocarril en el transport a Catalunya.*

**Jordi Pietx**, Xarxa de Custòdia del Territori

**Jordi Sargatal**, Fundació Territori i Paisatge  
*Conservació del territori i societat civil.*

**Dr. Xavier Aquilué**, Director del Museu d'Arqueologia de Catalunya-  
Empúries  
*Les migracions humanes en l'antiguitat: lliçons per al dia d'avui.*

Fruit de la ja antiga col·laboració –iniciada el 1980– en el camp de l'ecologia urbana entre l'Ajuntament de Barcelona i la Universitat Autònoma de Barcelona, el 1996 va néixer l'Aula Permanent d'Ecologia de la Ciutat. L'Aula d'Ecologia té els seus orígens en el propòsit de consolidar un nucli de debat sobre la qüestió ambiental. Des de la seva creació, l'Aula d'Ecologia ha organitzat un cicle de conferències anuals i, des del cicle de 1997, els resums han estat publicats en volums d'aquesta mateixa sèrie.

El present ja és el novè d'aquests volums. S'hi inclouen els resums del cicle de l'any 2006, amb l'excepció del corresponent a la conferència del Dr. Jesús Mosterín, que no s'ha pogut fer. Entre els temes tractats, n'hi ha que fan referència al canvi climàtic, com la conferència de Josep Enric Llebot, que resumeix les conclusions de l'informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, i la d'Antoni Rossell, sobre els efectes del canvi en la circulació oceànica. La d'Enric Mateu, sobre la història de les epidèmies, la de Pere Santanach, sobre terratrèmols i tsunamis, i la de Xavier Querol, sobre la contaminació de l'aire a les ciutats, sobretot a causa del trànsit, toquen qüestions especialment rellevants en el context del canvi global. Javier Romero fa una anàlisi del funcionament i dels principals riscos ambientals del mar Mediterrani.

Altres conferències tenen un contingut més directament social. Jordi Julià s'ocupa del futur del transport ferroviari, amb especial referència a Catalunya. Jordi Pietx i Jordi Sargatal presenten les bones notícies de la creixent implicació de la societat civil catalana en iniciatives de conservació de la natura. Finalment, Xavier Aquilué fa un repàs històric de les migracions humanes i mira de treure'n lliçons per a la situació actual.

Com sol ser el cas a l'Aula Permanent d'Ecologia, l'espectre temàtic és, doncs, molt ampli, però hi trobem aportacions teòriques i alhora exemples concrets, eines metodològiques, resultats de recerca de primera mà i propostes de futur. La qualitat de les conferències ha estat elevada, ja que tots els ponents han estat curosament seleccionats per la seva experiència directa sobre el tema. Les sessions, un any més, es van veure molt enriquides pels debats, generalment vius i oportuns, amb els assistents.

ISBN 978-84-490-2485-6



9 788449 024856

# L'informe del canvi climàtic a Catalunya

Josep Enric Llebot

Departament de Física de la UAB

Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de la Generalitat de Catalunya

En presentar l'informe del canvi climàtic a Catalunya, voldria ressaltar que no parlo d'un treball meu, sinó del d'un grup d'experts de quaranta-cinc persones que han aportat la seva experiència des de cadascun dels àmbits que desenvolupa l'informe. Intentaré posar en context l'entorn on s'ha gestat l'informe i faré un resum de les principals conclusions.

## Cronologia

Fem primer uns apunts cronològics per situar l'estudi i tot el debat que existeix entorn del canvi climàtic.

L'any 1988, les Nacions Unides i l'Organització Meteorològica Mundial van crear un grup intergovernamental per estudiar els problemes del canvi climàtic. Per assolir una opinió consensuada i experta sobre aquests temes, es va crear el Grup Internacional d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC). Aquest grup encara actua avui dia.

L'any 1992, va tenir lloc la Cimera de la Terra a Rio de Janeiro. Una de les fites d'aquesta cimera va ser la signatura del Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic. Es tracta de l'eina jurídica de rang més alt que en aquests moments tenim per gestionar els problemes del canvi climàtic. Aquest conveni va entrar en vigor el 21 de març de 1994, ratificat per la major part dels estats de les Nacions Unides, entre ells, els EUA. Aquests convenis marc són unes declaracions de bones intencions més o menys ambigües però que es doten d'unes eines de concreció. Una n'és la Conferència de les Parts, que s'abreuja com a COP (Conference of Parts). Aquestes conferències intenten anar concretant el que estableix el conveni de canvi climàtic.

La primera conferència (COP 1) va començar l'any 1995 i, el novembre de 2006, es va reunir l'última a Nairobi (COP 12). La tercera d'aquestes conferències va tenir lloc a Kyoto l'any 1997, on es va concretar

el prou conegut protocol de Kyoto, que estableix unes mesures de limitació d'emissions de sis gasos amb efecte d'hivernacle en un grup de països. L'any 2001, es va publicar el darrer informe global de l'IPCC (IPCC-TAR, de Third Assessment Report), que posava al dia la informació que es tenia sobre la ciència, els impactes del canvi climàtic, les eines de detecció i les possibles polítiques que es poden dur a terme. Està previst que el quart informe es publicarà l'any 2007. L'octubre de l'any 2003, la Unió Europea va publicar la directiva de comerç d'emissions que regula les quotes d'emissió dels diferents països en funció dels compromisos adoptats en el protocol de Kyoto. En aquell moment, es va acordar que l'Estat espanyol podia augmentar les seves emissions un 15 % per sobre de les seves emissions el 1990. A altres països els van adjudicar disminucions. La Unió Europea, en elaborar aquesta directiva de 2003, també establia unes eines (el comerç d'emissions) per tal de facilitar aquestes reduccions. El 16 de febrer de 2005, després de la ratificació de Rússia, el protocol de Kyoto va entrar en vigor i, per tant, ara és una eina jurídica que reglamenta les emissions d'un determinat nombre de països.

Un dels punts més importants del Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic, l'article 2, estableix que els estats procuraran «l'estabilització de les concentracions de gasos causants de l'efecte d'hivernacle a l'atmosfera a un nivell que impedeixi interferències perilloses en el sistema climàtic». Això sembla molt correcte, però no queda clar quines i com són les interferències perilloses, i quin grau de contaminants és el que produeix les interferències. No se sap on s'ha de posar el llindar.

Darrerament, davant la impossibilitat que els experts donin una xifra, la Unió Europea ha adoptat un valor determinat per decisió política, no pas tècnica. S'ha decidit que es consideren interferències perilloses totes aquelles emissions que condueixin al fet que la temperatura a l'atmosfera augmenti per sobre de 2 °C respecte dels nivells a l'època preindustrial. Ara estaríem, de mitjana, en un augment entre 0,6 i 0,8 °C.

En el mateix conveni marc s'expliciten els compromisos dels estats basats en el concepte de responsabilitats comunes però diferenciades. En resum, es tracta que tots els països del món tenen responsabilitat sobre l'atmosfera i, per tant, totes les seves accions contribueixen en certa manera a una determinada composició atmosfèrica, però no a tots se'ls adjudica la mateixa responsabilitat. En el protocol de Kyoto es diferencien trenta-tres estats enfront d'un centenar dels altres. Als primers se'ls demana globalment una reducció del 5 %, mentre que als altres no se'ls exigeix res.

Un altre aspecte important del conveni marc és que fixa l'elaboració i presentació d'inventaris nacionals. De sempre, les emissions de CO<sub>2</sub> s'han basat en càlculs, no en mesures. Abans del protocol de Kyoto, cada estat ho calculava segons li convenia. Amb el protocol de Kyoto (i amb l'assessorament de l'IPCC), s'ha establert un sistema de protocols d'elaboració dels inventaris nacionals. Així doncs, les formes de mesura són les mateixes i els inventaris són comparables entre països.

El conveni marc, a més, incita a formular programes nacionals i regionals per contrarestar el canvi climàtic i estratègies per adaptar-se als seus efectes. En aquest entorn s'insereix el present informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. La idea és, tot i reconèixer-ne el caràcter de problema global, formular-se preguntes com ara quins impactes hi ha a Catalunya?; ja s'ha detectat un canvi del clima a Catalunya?; en quines condicions es manifesta?; cap on anirà?; quines són les zones, les activitats o els sectors de més risc davant d'un possible canvi ambiental?

Del que es tracta és de respondre a aquestes preguntes i alhora detectar quins són els àmbits d'activitat on tenim un desconeixement complet. És un estudi promogut i coordinat pel Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya de la Generalitat de Catalunya (CADS), amb la col·laboració del Servei Meteorològic de Catalunya i de l'Institut d'Estudis Catalans. El resultat ha estat una publicació de 825 pàgines, estructurada en 21 capítols i elaborada per 45 autors. La publicació ha estat patrocinada per Caixa Girona, Caixa Sabadell, Caixa Tarragona i la Secció de Ciències de l'Institut d'Estudis Catalans. També s'ha elaborat un document de resum executiu amb 126 conclusions editat pel CADS en català, castellà i anglès. A continuació faré un resum de l'informe.

L'objectiu de l'estudi és detectar i fer disminuir els comportaments de risc, esbrinar-ne les conseqüències a escala regional al nostre país, identificar els sectors econòmics i socials més vulnerables i elaborar un pla d'acció (polític i administratiu). L'estudi està dividit en tres parts, que inclouen la ciència, els impactes i l'organització administrativa.

## La ciència del canvi climàtic

Aquest apartat té sis capítols: 1. El sistema climàtic. 2. Una perspectiva històrica del canvi climàtic. 3. Els factors geogràfics, la regionalització climàtica i les tendències de les sèries climàtiques a Catalunya. 4. El forçament antropogènic i els canvis del clima. 5. L'estimació de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle produïdes a Catalunya durant el període 1990-2001. 6. Projeccions futures sobre el clima a Catalunya.

Tots els escenaris que inclou l'estudi català preveuen un creixement del CO<sub>2</sub> durant el segle XXI, una previsió comuna a tot el món i exemplificada per la tendència mesurada a l'observatori de Mauna Loa (Hawaii). El comportament general de la temperatura a Catalunya és molt similar al planetari, tal com ho han reconstruït investigadors de la Universitat Rovira i Virgili a partir de dades dels observatoris de Catalunya. Hi ha un augment de la temperatura a partir dels anys vuitanta, similar al de la mitjana mundial. Per la pluviometria, el nostre país presenta característiques singulars. A Europa es preveu, i existeixen mesures que ho demostren, un augment de les precipitacions. A Catalunya, no obstant això, no es veu cap tendència clara. Tampoc no s'ha trobat un canvi en el nombre, la freqüència, la intensitat o la persistència dels episodis meteorològics extrems. Mentre que els models preveuen que sí que n'hi haurà, a la pràctica els registres no els han mostrat.

Què diuen els models? Les conclusions de l'IPCC, ara com ara, són que les prediccions del canvi climàtic a escala regional encara són molt incertes. Les cel·les dels models són massa grans per poder predir els esdeveniments a escala petita. Per superar aquest entrebanc, cal regionalitzar els models. El nostre grup de recerca treballa per trobar estratègies per poder predir a escales petites, per exemple, per distingir diferents localitats dins de Catalunya. Fins ara, en els models de GCM, Catalunya només es representa per 2 punts. Sense entrar en gaires detalls, podem dir que la idea essencial del que fem és seleccionar estacions meteorològiques que tinguin un registre llarg de temperatura o precipitació. Aquestes dades les comparem amb els resultats d'aplicar models GCM i es busquen correlacions. Després, usant les correlacions en el passat i considerant que les correlacions es mantindran idèntiques en el futur, es calcula el model cap al futur i es dedueixen les temperatures corresponents a les escales locals. Aquest tipus d'aproximació l'hem usat amb dades de l'aeroport de Girona, l'Estartit, Castellfollit de la Roca, l'Observatori Fabra, Núria, Montserrat i Moià. D'aquí es dedueixen les pautes del que pot passar a escala regional amb els canvis de temperatura.

Pel que fa a les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, en el període 1990-2001 les emissions van augmentar a Catalunya seguint la tendència de l'Estat espanyol. Com que el creixement del PIB de l'Estat espanyol ha estat superior al de la mitjana europea, les emissions també ho són. Les emissions per càpita a Catalunya durant el 2001 són de 8,4 t CO<sub>2</sub> per habitant i any. Aquest valor se situa a la franja baixa comparat amb la mitjana europea (10-11 t CO<sub>2</sub> per habitant i any). Això és degut en part al desenvolupament econòmic i en part a l'aportació de les centrals nuclears al proveïment d'energia elèctrica del país.

Segons els sectors d'activitat, malgrat que habitualment s'atribueix el pes de les emissions al sector industrial, el sector responsable de l'increment de les emissions és el del transport. Analitzant dades del període 1990-2001, es veu que les emissions del sector industrial es mantenen constants, probablement a causa de l'aplicació de normatives reguladores i de la millora de l'eficiència dels processos productius conseqüents, que han pogut pal·liar l'augment de la producció.

### **Impactes, vulnerabilitat, mitigació i adaptació**

La segona part de l'informe sobre el canvi climàtic a Catalunya conté les aportacions d'onze grups d'estudi que han revisat l'impacte del canvi de clima en els temes següents: 1. L'energia, les infraestructures i el medi urbà. 2. El transport. 3. La indústria. 4. L'agricultura i la silvicultura. 5. Els residus. 6. El turisme. 7. Els recursos hídrics i la dinàmica hidrològica. 8. Els sistemes naturals: ecosistemes terrestres. 9. El paper dels sòls de Catalunya en el canvi climàtic. 10. Les zones costaneres i la dinàmica sedimentària. 11. La salut.

Respecte de l'energia, alguns dels principals punts forts a Catalunya des de la perspectiva de les emissions són la gran implantació del gas natural en el consum domèstic i en la generació de l'energia elèctrica, i el pes de les centrals nuclears, que forneixen el 40 % de l'energia sense emissions. A Catalunya hi ha un gran potencial eòlic i solar per explotar. A més, ho acompanya el fet de tenir un fort suport social i un teixit associatiu molt favorable a l'ús de fonts renovables d'energia i la capacitat tecnològica per reduir-ne el consum. D'altra banda, els punts febles que es van identificar inclouen una importació considerable d'electricitat, la dependència de la gestió energètica d'organismes fora de Catalunya, un potencial hidroelèctric saturat, l'oposició social a la construcció de parcs eòlics, poca formació universitària en l'àmbit de l'energia, i poca consciència social de la necessitat de reduir les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle.

Respecte a les infraestructures i l'urbanisme, veiem que hi ha una desconcentració residencial, cosa que genera un gran consum de sòl i una alta mobilitat. El transport és el primer sector en consum d'energia a Catalunya des de 1993. I les previsions a un termini de deu anys van cap a un augment de la seva demanda energètica a un ritme del 5,4 % anual. És el sector que creix més quant a consum d'energia i emissió de gasos. Es dona la circumstància que Catalunya és un país de pas, i tenim una gran afluència de trànsit que produeix emissions però que no correspon a activitats del país mateix.

Els efectes del canvi climàtic sobre l'agricultura són incerts i complexos, i varien segons les espècies agrícoles i forestals. L'amenaça més gran per a l'agricultura i la silvicultura catalanes és la disminució de la disponibilitat d'aigua, la qual serà crítica a les zones de secà. Els canvis en les variables meteorològiques poden afectar la productivitat i la qualitat dels conreus i els riscos meteorològics als quals estan sotmesos. Però, alhora, aquests canvis també poden constituir oportunitats comercials, com el cultiu de varietats precoces amb un valor econòmic més gran en el mercat. Els prats d'alta muntanya i els boscos de muntanya són ecosistemes molt amenaçats pels canvis de les condicions climàtiques, ja que tenen una gran vulnerabilitat i poca capacitat d'adaptar-se als canvis ambientals.

Respecte dels residus, els residus sòlids urbans (RSU) són els que fan més aportacions a les emissions relacionades amb el canvi climàtic perquè en la seva degradació emeten metà. De tota manera, hi ha un pla per al reaprofitament del biogàs en els abocadors. En la reducció de les emissions hi té un paper cabdal l'aprofitament de l'esmentat biogàs obtingut per digestió anaeròbia.

Quant al turisme, sembla plausible l'augment de la freqüentació per l'allargament de la temporada i una disminució de l'estacionalitat en el turisme de sol i platja a Catalunya. D'altra banda, probablement l'augment de temperatura en època estival i la sequera provocaran una disminució de l'afluència el mes d'agost. Els impactes més importants podrien donar-se en el turisme d'hivern. La disminució de la innivació natural requerirà l'ús de canons de neu artificial, però l'augment de les temperatures farà més costosa la producció de neu artificial. Les estacions que tinguin pistes per sota de la cota de 2.000 m és molt probable que a mitjan segle XXI tinguin problemes de gestió a causa de la menor innivació.

Respecte dels recursos hídrics, se'n va fer una anàlisi molt acurada i es va constatar un desconeixement dels recursos hídrics subterranis. A termini curt i mitjà, les variacions de la demanda i els canvis d'ús del territori produiran una pressió més gran sobre l'aigua que no pas les influències del canvi global. De tota manera, les tendències climàtiques no afavoriran la recuperació de les deficiències actuals en la disponibilitat de recursos hídrics.

Els estudis sobre els sistemes naturals mostren canvis en la fenologia de les espècies vegetals lligats al canvi climàtic. Els estudis dels sòls mostren que tenim un gran desconeixement dels sòls de Catalunya. S'ha de fer una cartografia edàfica. També s'ha constatat que els sòls de Catalunya tenen, en conjunt, un potencial de segrest de carboni elevat, encara que la manca d'aigua en pot limitar les entrades. La gestió adequada dels



fertilitzants nitrogenats pot ser més efectiva que altres mesures en la mitigació del canvi climàtic a Catalunya. S'han d'incentivar les tècniques de conreu més adients davant l'agricultura convencional.

Quant a les zones costaneres, a un termini mitjà, el canvi climàtic pot contribuir a modelar l'aspecte de la costa catalana mitjançant l'ascens relatiu del nivell mitjà del mar, l'augment en la persistència de les tempestes i un lleuger increment en la seva intensitat, l'augment de la freqüència d'inundacions i la disminució del volum sedimentari disponible a les conques sorrenques. La costa es troba en un equilibri molt fràgil i presenta un alt valor natural. Les zones de més risc són les costes baixes: els principals deltes de la costa catalana i els aiguamolls costaners. S'ha de començar a actuar amb prou antelació a fi d'anticipar-se a les conseqüències del canvi climàtic, ja que no serà factible defensar totes les costes baixes del Principat simultàniament i en un període de pocs anys.

Finalment, els efectes sobre la salut s'associen principalment als augmentos de la temperatura. L'informe és relativament optimista, si bé reconeix que poden augmentar els casos de malària o la incidència de malalties que afectin l'agricultura i la ramaderia. En tot cas i pel que fa a les persones, el sistema de salut està prou desenvolupat per poder combatre aquest augment de vectors de transmissió lligats a la temperatura. Els principals efectes indirectes es basen en la modificació dels nivells de contaminació atmosfèrica i de pol·len. La complexitat i els múltiples factors que determinen la transmissió de malalties fan molt difícil generalitzar sobre els mecanismes que la fan possible.

## **Instruments de gestió**

Essencialment, el Govern i les administracions catalanes en l'exercici de les seves responsabilitats, i malgrat que moltes de les competències estan derivades a l'Estat espanyol o la Unió Europea, tenen un marge d'actuació. Per tant, les administracions s'han de dotar d'una estructura que pugui gestionar els problemes derivats del canvi climàtic. La Generalitat té departaments (per exemple, Medi Ambient i Habitatge, Agricultura i Pesca, Política Territorial i Obres Públiques) als quals concerneix el canvi climàtic. L'actuació de la Generalitat ha de tenir una estructura política i administrativa per gestionar transversalment aquesta qüestió a nivell de comunitat autònoma, però a nivell local també hi ha d'haver iniciatives similars.

Per finalitzar, no ens trobem en un territori on els impactes siguin molt grans i amb molt de risc, però hi detectem aspectes vulnerables: s'ha d'estar al cas per actuar amb la màxima eficiència.

## Circulació oceànica i canvis abruptes en el clima: passat i futur

Dr. Antoni Rosell

Professor de recerca de l'ICREA a l'ICTA-UAB

Normalment, en referència al canvi climàtic, es parla sobretot dels aspectes atmosfèrics i, no obstant això, els oceans hi tenen també un paper fonamental. Per compensar una mica aquest oblit mediàtic, m'estendré a presentar estudis que mostren la relació dels oceans amb els canvis del clima i destacaré el descobriment recent que es poden donar canvis abruptes de clima, materialitzats en només unes dècades.

Els habitants dels països de la riba nord de l'Atlàntic estan força pendents del que passa a l'oceà Atlàntic. Un exemple de la preocupació per un potencial escenari de canvi de clima lligat a canvis en els oceans és el que mostra la pel·lícula *El día de mañana*. En la mateixa sintonia, alguns diaris prestigiosos, com *The Times*, van publicar una notícia el maig de 2005 referint que la Gran Bretanya s'enfronta a un gran refredament perquè els corrents oceànics s'estan alentint.

Ens ho podem creure això? N'hi ha per a tant? Què hi ha de ficció i què hi ha de realitat?

Ens ajudarà a entendre-ho l'estudi del que va passar en el passat. I com més enrere puguem anar en el temps, més global serà la representació que obtindrem del funcionament del sistema. Tal com va dir Winston Churchill: «The further backward you can look, the further forward you are likely to see.» [Com més enrere puguem mirar, més enllà hi podrem veure.] Aquesta és la filosofia que el nostre institut aplica per determinar les pautes de canvis actuals i futurs.

Ara bé, s'ha de tenir en compte que, per obtenir una representació robusta dels canvis, calen sèries molt llargues. A vegades, tendències que veiem ben clares durant un temps desapareixen en allargar la sèrie cap enrere. Aquest fet deriva de la complexitat de les relacions establertes entre les nombroses variables que s'interrelacionen entre elles i que comprenen canvis dels oceans, l'atmosfera, la vegetació o la dinàmica solar, entre d'altres.

Per tant, ens fixarem en sèries temporals tan llargues com sigui possible. I quan ho fem així, ens adonem que actualment gaudim d'un clima força estable, encara que no ho sembli. Si mirem sèries de desenes de milers d'anys enrere, també veiem que hi ha hagut episodis de canvi molt ràpids i abruptes en alguns moments. Per exemple, fa 8.200 anys hi va haver una pertorbació climàtica a l'hemisferi nord (a Grenlàndia la temperatura va augmentar en 6 °C), però que també es va sentir per tot el globus. Més enrere en el temps, trobem el que s'anomena el canvi del Dryas recent, on en menys d'una dècada la temperatura va pujar 15 °C a Grenlàndia. Normalment pensem que els canvis són graduals, que les coses van canviant de mica en mica, però aquí veiem que, en només una dècada, es van produir uns canvis climàtics importants que van afectar globalment el planeta.

En l'Holocè (els darrers deu mil anys) hi ha una gran variabilitat climàtica, que podem aprofitar per estudiar què provoca aquests canvis extrems i ràpids i, així, poder entendre el que passa actualment.

Fa uns vint mil anys, Nord-amèrica estava en gran part coberta per una gran placa gelada (la Laurentiade), de fins a 3.000 m de fondària, però aquestes glaceres de l'hemisferi nord eren molt inestables: la glacera es podia «trencar» de sobte i vessar unes quantitats ingents d'icebergs a l'Atlàntic. Els icebergs, en fondre's, alliberaven els sediments que portaven, que es dipositaven al fons del mar. Estudiant els sediments de l'Atlàntic nord, i a partir de les restes aportades pels icebergs, podem determinar la seqüència dels períodes de glaciació o dels interglacials. S'observa que les aportacions de sediments s'han fet en qüestió de dècades, un sospir, geològicament parlant. A més, quan els icebergs es fonen, aporten gran quantitat d'aigua dolça a l'oceà, fet que en pertorba la salinitat. En testimonis de gel de Grenlàndia hem pogut estudiar la variació de la temperatura en aquest període. Hem vist també que oscil·lacions similars a les de la temperatura de Grenlàndia es troben en tot el planeta. Per exemple, l'esmentada sèrie de temperatura de Grenlàndia està correlacionada amb canvis en la productivitat marina a l'Índic o amb la pluviositat al Brasil. Quan veiem aquests canvis arreu del món, deduïm que el mecanisme responsable d'aquestes oscil·lacions brusques ha de ser global. També s'observa que, mentre que les temperatures pugen a l'hemisferi nord, a l'hemisferi sud baixen. Per tant, i a diferència de la concepció habitual, els canvis globals poden no tenir una mateixa direcció a escala planetària.

Ens interessa entendre aquestes dinàmiques per entendre què passa si es pertorba la circulació atlàntica. De fet, aquestes observacions les tractem com si fossin un experiment que ens ha d'ajudar a interpretar les dinàmiques actuals.

Actualment, es considera que la hipòtesi que millor explica els canvis bruscos de temperatura esmentats és la basada en modificacions en la circulació termohalina oceànica. Per explicar de forma molt simple què és la circulació termohalina, ens hem d'imaginar el planeta com si estigués recorregut per una gran cinta contínua que enllaça tots els oceans. Les aigües que surten del Carib pugen cap a l'Atlàntic nord, on s'enfonsen entre el mar de Noruega i Grenlàndia i en el mar de Labrador. Aquestes masses d'aigua es desplacen en fondària fins a l'Antàrtida, on també es formen aigües profundes, i allà es distribueixen, en circumval·lació des de l'Antàrtida, derivant cap al Pacífic i cap l'Índic. D'aquí viatgen cap al nord del Pacífic per aflorar en superfície, des d'on tornen a baixar per tornar cap a Sud-àfrica i l'Atlàntic i així tanquen el cicle (figura 1). Es tracta d'una hipòtesi proposada als anys seixanta que cada vegada té més evidències a favor. Es calcula que una molècula d'aigua trigaria mil anys a fer tot el cicle. És important el fet que l'aigua superficial s'enfonsa només en uns llocs molt específics de l'oceà (a l'Atlàntic nord i a l'oceà Antàrtic), a causa de l'augment de la seva densitat en aquests punts. S'ha vist que els canvis abruptes de la temperatura tenen relació amb la dinàmica de la circulació a l'Atlàntic nord.

La circulació del corrent termohalí té un efecte molt important en la distribució de calor a la Terra. El que fa aquest corrent (mitjançant el corrent del Golf) és transportar calor cap a l'Àrtic. Per exemple, Escandinàvia, que rep el corrent del Golf, és perfectament habitable, mentre que Grenlàndia, a una latitud similar a l'altra banda del mar del Nord i sense els beneficis del corrent del Golf, està permanentment gelada. Aquest transport de calor fa que Europa sigui més càlida que latituds equivalents a l'altre costat de l'Atlàntic (p.e., la diferència de clima entre Barcelona-Boston, situades entorn del paral·lel 41°). En resum, el paper dels oceans en el clima, a través de la circulació marina, és el de transportar calor, bàsicament des de l'equador cap a l'Àrtic. Si pertorbem la circulació oceànica, afectem la distribució de calor en tot el planeta. El nostre equip ha endegat projectes d'investigació per estudiar la transferència de calor des de l'Índic cap a l'Atlàntic sud, i d'aquí cap a l'Atlàntic nord. Si s'interrompés la transferència d'aigües Índic-Atlàntic, el clima d'Europa es veuria afectat. Així doncs, s'ha de tenir en compte que la calor que rebem a Europa no només ve dels tròpics de la banda atlàntica, sinó també de parts tan allunyades com l'Índic!

Si fem un balanç de la calor transportada per la circulació termohalina entre els hemisferis sud i nord, trobem que hi ha un transport de calor des de l'hemisferi sud cap a l'hemisferi nord. A l'Atlàntic nord acumulem molta energia, i això dóna unes condicions ideals per viure a

Europa. No obstant això, es tracta d'un sistema molt delicat climàticament parlant i molt susceptible a pertorbacions.

Què pot fer que aquest sistema canviï, i què passa quan canvia?

El que controla que l'aigua a latituds molt septentrionals s'enfonsi són els canvis de temperatura i de salinitat. En simulacions climàtiques s'ha demostrat que el sistema de circulació termohalina no és un sistema lineal. Malgrat que habitualment pensem en termes de relació lineal, ara sabem que hi ha molts fenòmens naturals que no obeeixen a lleis lineals, sinó que són afectats per nivells llindar: quan se sobrepassa el nivell llindar, la resposta deixa de ser lineal. En el clima, hi ha processos (com la circulació termohalina) que a partir de cert llindar experimenten un gran canvi.

En el cas que ens ocupa, si a l'Atlàntic nord hi hagués una entrada continuada d'aigua dolça, baixaria la salinitat i l'aigua del mar no seria prou densa per enfonsar-se. En modelitzacions matemàtiques es pot veure que hi ha una relació d'histèresi entre l'entrada d'aigua dolça i la temperatura al nord d'Europa: si va afluïnt més aigua dolça a l'Atlàntic nord, arriba un moment en què la circulació termohalina s'atura i, com que no arriba el flux de retorn de calor per les aigües atlàntiques superficials, la temperatura al nord d'Europa baixa bruscament i es glaça la zona circumpolar. Això fa disminuir l'entrada d'aigua dolça a l'Atlàntic nord, cosa que va provocant un augment de la salinitat i de la densitat de l'aigua fins que, en arribar a determinat llindar, l'aigua comença de nou a enfonsar-se i es reprèn la circulació, cosa que, bruscament, aporta de nou la calor de zones tropicals a latituds elevades.

Es tracta d'un equilibri múltiple en què la circulació oceànica és estable de dues maneres: tal com la tenim ara o amb una circulació molt més lenta, havent interromput l'aportació de calor cap a l'Europa del nord. Així doncs, tenim un sistema binari, d'*on-off*. Quan està en situació *on*, la circulació termohalina transporta calor cap a latituds altes de l'hemisferi nord. Quan està en *off*, no hi ha convecció a l'Atlàntic profund i la temperatura atmosfèrica baixa a l'Europa del nord. Això dóna variacions brusques, aquelles oscil·lacions climàtiques dels registres geològics esmentades al principi. Aquests cicles de variació de la temperatura són molt regulars i s'anomenen cicles de Dansgaard-Oeschger.

Els canvis en la circulació termohalina tenen conseqüències en tot el planeta i afecten la temperatura de l'aire i la precipitació. En un estudi comparatiu del canvi de temperatura en localitats de tot el planeta, es mostra que, quan hi ha un augment de la temperatura a l'hemisferi nord, hi ha una disminució a l'hemisferi sud i viceversa. Per tant, els canvis climàtics no són en la mateixa direcció en tot el planeta, un efecte que

en anglès s'anomena *bipolar seasaw*, i que nosaltres anomenem «sistema climàtic balancí». El sistema balancí es pot explicar per l'alentiment de la circulació termohalina, que fa que la calor no transportada cap a l'hemisferi nord s'acumuli als tròpics o a l'Atlàntic sud, d'aquí que sorgeixi una relació inversa entre tots dos hemisferis, un fenomen molt ben estudiat actualment amb dades de registres mil·lenaris.

Davant d'aquesta situació, ens podem preguntar: què passarà amb l'augment recent de gasos d'efecte d'hivernacle en l'atmosfera? L'escalfament global, pot fer que s'aturi la circulació termohalina i que es congeli l'hemisferi nord (l'argument de la pel·lícula *El día de mañana*)?

L'efecte d'un increment de gasos d'efecte d'hivernacle a l'atmosfera produeix un augment de l'efecte radiatiu a l'atmosfera i més absorció de calor. Això es pot traduir en un increment de la temperatura de l'atmosfera i de l'evaporació de l'aigua del mar. L'increment de l'evaporació conduiria a una acumulació de més humitat a l'atmosfera. L'escenari que alguns autors proposen és que aquesta quantitat més gran d'aigua continguda a l'atmosfera portaria a un augment de la precipitació en zones determinades. Uns estudis de les tendències de precipitació entre els anys 1990 i 2000 i models de simulació del balanç hídric coincideixen a indicar que s'està produint un augment de la precipitació a latituds elevades. Altres estudis han mostrat un augment de l'aportació de drenatge dels rius del nord d'Euràsia entre els anys 1930 i 2000. Així doncs, tant a partir de resultats de camp com de simulació, se suggereix que l'escalfament global produirà més pluges a la zona de l'Atlàntic nord. Aquesta major aportació d'aigua dolça portaria a una disminució de la salinitat superficial a l'Atlàntic nord, fet que ens situaria en l'escenari d'atur de la circulació termohalina.

Està succeint així? Resulta afectada la cinta de transport de calor per aquest fet? Els modeladors climàtics de tot el món s'han posat d'acord per fer un experiment conjunt en condicions comparables per simular quins efectes pot tenir el fet d'introduir aigua dolça a l'Atlàntic nord en la circulació termohalina. Se simulen escenaris en condicions realistes introduint la quantitat d'aigua previsible per a un increment de  $\text{CO}_2$  dins dels escenaris esperables ( $4 \times$  actual  $\text{CO}_2$ ). Se simula una introducció d'aigua a l'Atlàntic nord com la que aporta l'Amazones ( $0,14 \text{ Sv}$ ;  $1 \text{ Sv}$  (sverdrup) equival a un milió de  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). En comparació, en escenaris extrems d'escalfament global, el casquet de Grenlàndia en fondre's aportaria la meitat d'aquesta quantitat anualment. El que preveu el model és que la resposta en la circulació termohalina ocorreria al cap d'uns cent anys, amb un alentiment del 30 % respecte de la velocitat actual. Cap model no preveu l'aturada de la circulació termohalina.

També es preveu que el canvi sigui reversible. Les conseqüències, doncs, no serien tan dràstiques com si hi hagués una aturada total i tampoc no seria un canvi homogeni a tot el planeta, sinó que tindríem un refredament a l'hemisferi nord (al voltant de 3 °C de disminució de la temperatura), però un escalfament a l'hemisferi sud.

També s'ha fet una simulació amb una entrada d'aigua dolça d'1 Sv durant cent anys, un escenari molt dràstic i fora d'unes expectatives realistes, però que ha ocorregut en algun moment de la història del planeta. Aquestes condicions de simulació farien que el nivell del mar augmentés en 9 m. La simulació indica que la circulació termohalina disminueix d'intensitat molt ràpidament i hi ha un fort refredament a l'Atlàntic nord, però els diferents models no es posen d'acord en si el fenomen seria reversible o no.

Que passa avui en dia? Cada vegada hi ha més dades que corroboren la disminució de la salinitat de l'Atlàntic nord. Des de l'any 1965 fins a l'actualitat, s'ha demostrat una baixada de la salinitat en aigua circumpolar, cosa que confirma que cada vegada hi ha més drenatge dels rius cap a l'Atlàntic nord. Això pot iniciar un procés d'alentiment de la circulació termohalina. Tot i que no sembla que es pugui donar la situació descrita en la pel·lícula esmentada, la magnitud del canvi encara està per establir.

## Epidèmies: l'eterna amenaça

Dr. Enric Mateu

Departament de Sanitat i d'Anatomia Animals  
Universitat Autònoma de Barcelona

Una primera reflexió que cal fer és que, en el món actual, l'impacte dels mitjans de comunicació fa que les notícies es magnifiquin. Però, certament, les malalties infeccioses han ocorregut en tots els temps. Parlaré de malalties de les persones però també de les dels animals. Les epidèmies humanes ens són més properes però succeeixen per les mateixes raons que ocorren les malalties dels animals.

La vida va aparèixer a la Terra fa 3.500 milions d'anys (m.a.). En el Proterozoic (1.500-543 m.a. enrere) van aparèixer els bacteris. Els bacteris que podem associar amb malalties tenen l'origen en aquests bacteris apareguts fa uns 1.500 m.a. Al Paleozoic (fa 543-250 m.a.) van aparèixer els artròpodes, els mol·luscs, els cordats i els peixos. En aquests moments ja existien malalties en els animals. Les hipòtesis actuals diuen que els virus van aparèixer fa uns 500 m.a. I en els esquelets dels peixos es veu que són els primers que desenvolupen anticossos per tal de lluitar contra les espècies infeccioses. Al Mesozoic (fa 240-265 m.a.) van aparèixer evidències de l'existència de paràsits.

El document més antic que parla de qüestions mèdiques és el papir d'Ebersa, de l'any 1550 aC, que ja descriu la presència d'una epidèmia a Egipte, possiblement la malària. La deessa egípcia Sekhmet era la divinitat responsable de les malalties. Es creia que quan la gent feia alguna cosa prohibida, la deessa enviava una epidèmia sobre el país. Però la nostra cultura cristiana recull la mateixa creença. Les deu plagues d'Egipte provindrien del càstig que va enviar Déu als egipcis perquè deixessin marxar els israelites cap a terra palestina. Concretament, la cinquena plaga d'Egipte, descrita al capítol 9 de l'Èxode, ens diu que «tot el bestiar d'Egipte morí» (Èxode 9,6, segle XIII aC). Avui es creu que podia ser una epidèmia de pesta bovina.

En la mòmia de Ramsès II tenim constància històrica que al segle XIII aC ja hi havia verola a Egipte per unes marques a la cara momifica-



da que s'atribueixen a signes d'aquesta malaltia. D'altra banda, l'esquelet momificat d'un egipci del segle XI aC presenta el que s'anomena la tuberculosi òssia, és a dir, ens indica una epidèmia de tuberculosi a l'antic Egipte.

No obstant aquestes referències, la primera epidèmia ben documentada i enregistrada de forma històrica va ser la pesta d'Atenes. Està molt ben documentada perquè es va produir enmig de les guerres del Peloponès, unes guerres de les quals Tucídides va redactar unes detallades cròniques a mitjan segle V aC. Entre els fets que es van esdevenir durant les guerres va descriure aquesta pesta. És important històricament per la descripció de l'epidèmia, però també perquè és el primer relat en la història de com les persones que sobreviuen a la pesta quedaven immunitzades. Avui en dia encara no se sap del cert quina va ser la causa de la pesta d'Atenes. Les hipòtesis que es consideren es refereixen a les febres tifoides, l'escarlatina, la pesta bubònica, el xarampió i fins i tot la malaltia d'Ebola. Segons el relat de Tucídides, de 29.000 soldats d'infanteria, en van morir 4.400 (el 15 %), i de 12.000 soldats de cavalleria, van morir-ne 3.000 (el 25 %). També va morir Pèricles (495-429 aC). Les conseqüències, com es veu, van ser devastadores. Fins i tot la guerra es va aturar a causa de l'epidèmia, ja que les tropes espartanes es van retirar per por de contagiar-se les unes a les altres.

Com es produeix una epidèmia? En l'exemple següent veurem com les epidèmies es disseminen pel territori. L'Imperi Romà va caure a finals del segle V dC. En l'Imperi d'Orient va regnar Justinià des de l'any 518 fins al 565 dC. Durant aquest període es va produir la primera gran epidèmia europea en època recent (entre els anys 541 i 560), l'anomenada pesta de Justinià. L'Imperi Bizantí, a l'època de Justinià va conquerir el nord d'Àfrica i l'Europa central i l'evolució de l'epidèmia va discórrer en paral·lel al moviment de les tropes bizantines en conquesta fins al Roine. L'Imperi va ser contraatacat per búlgars i eslaus, que van arribar a la porta de Constantinoble. Simultàniament, els perses atacaven des de l'orient. Lògicament, aquestes guerres eren dinàmiques; les tropes avançaven, conquerien un terreny, eren repel·lides i cedien terreny. Per tant, durant aquest període hi va haver un moviment constant de tropes per tota la Mediterrània. L'any 541 dC tenim constància que en la zona d'Egipte i Etiòpia va aparèixer la pesta, probablement la pesta bubònica. Des d'aquesta zona va arribar l'any següent a Constantinoble, capital de l'Imperi Bizantí i nucli de comerç importantíssim. L'any 543, la pesta va aparèixer a Damasc en un moment en què les tropes de Justinià anaven cap a l'est per intentar contenir els avanços dels perses. El mateix any 543, la pesta va arribar a Itàlia fins al Roine, coincidint amb l'en-

trada de les tropes bizantines a Itàlia. Des d'allà, va saltar a la Gàl·lia fins a arribar als Pirineus. Així doncs, coincidint amb l'expansió de l'Imperi Bizantí, i amb el consegüent moviment d'homes i d'animals, l'epidèmia es va estendre per tot l'Imperi.

### La pesta negra

L'episodi epidèmic més important de la història ha estat la pesta negra. La pesta negra és la catàstrofe demogràfica més gran d'Europa en tot el temps de registre històric. El període de la pesta negra ocupa 4-5 anys, del 1347 al 1351 dC. L'entrada inicial del *Decameró* ens explica com va arribar la pesta negra, com deu persones fugen de Florència i es refugien en una casa als afores per evitar la pesta negra que està destruint la ciutat.

Veurem a continuació com va evolucionar la pesta i quines conseqüències va tenir en l'Europa de l'edat mitjana.

L'any 1346, Europa estava formada per petits estats al sud (a les penínsules Ibèrica i Itàlica), els grans estats del centre, on dominava el Sacre Imperi Romà Germànic (Àustria, Alemanya i el nord d'Itàlia) i l'Imperi dels Francs (França), i al nord, el principat de Rússia i el de Lituània. La pesta va aparèixer cap al 1320 a la Xina. Avui sabem que al centre de l'Àsia hi ha zones on la pesta bubònica és endèmica. La disseminació de la pesta es va produir a través de les rutes comercials principals. En aquest moment, hi havia dues rutes comercials importants: la que, des de Pequín i travessant el sud-est asiàtic fins a l'Índia, acabava a la Meca, i una altra, anomenada la ruta de la seda, que va des de Pequín pel centre d'Àsia fins a Samarcanda, Astracan i entra a Europa. En una primera fase, es creu que la pesta es va introduir a través de la ruta de la seda fins al Caucas o la Meca. Posteriorment, a partir d'aquí se sap que la primera ciutat a rebre la pesta va ser Kaffa, a Crimea, i des d'aquí, per les rutes comercials, es va disseminar per tot el Mediterrani el primer semestre de 1348. Inicialment, la pesta es va expandir per la zona de l'Adriàtic a través del comerç venecià. Una vegada arribada a Itàlia, i ara a través dels genovesos, es va transmetre a tot el Mediterrani occidental seguint les poblacions costaneres. El segon semestre de 1348, la malaltia havia arribat a París i se'n començaven a presentar casos a les illes Britàniques. El 1349, la pesta abraçava tota l'Europa meridional, tota l'Àsia Menor i el nord d'Àfrica, i es començava a disseminar cap a Polònia, Lituània i Rússia.

Avui sabem que la pesta negra es transmet per les puces de les rates, un coneixement relativament recent, de fa uns cent anys. Dos investigadors, Alexandre Yersin, que treballava amb el químic francès Louis

Pasteur, i Shibasaburo Kitasato, van descobrir simultàniament com es transmetia la pesta. A la natura, la malaltia es manté entre animals, en la interacció entre rosegadors salvatges i les seves puces. El rosegador conté puces contaminades amb els bacteris que causen la malaltia. Quan un rosegador mor, les puces que allotjava salten de l'animal per buscar un altre rosegador que els permeti alimentar-se. Amb aquest cicle, un rosegador infectat serveix de font de contagi de la puça i aquesta la va escampant a altres rosegadors. Normalment, aquest cicle es pot mantenir sense entrar en contacte amb l'home. Però la malaltia arriba a l'home si aquest envaeix zones on hi ha els rosegadors salvatges infectats, o si s'estableix un cicle on intervé la rata domèstica, com va succeir al segle XIV. Un cop el rosegador domèstic és infectat, i amb les altes densitats humanes a les ciutats i la manca d'higiene, les puces trameten ràpidament la malaltia a la població. Com que aquest cicle no es coneixia, els habitants urbans de l'edat mitjana lluitaven a cegues contra l'epidèmia.

La pesta va aparèixer en el període càlid medieval, un escalfament global que es va produir entre els anys 500 i 1350. Aquest augment de temperatura va anar acompanyat d'un augment de les precipitacions. En aquest període es van produir collites molt bones i la població humana a Europa va augmentar: en el període 1250-1350, la població havia doblat la del període 1000-1250: va passar de cinquanta a cent milions de persones. Aquest augment de població probablement va anar aparellat amb un augment de la població de rates. Això, unit a un increment del comerç, la creació de la burgesia i l'augment de la població de les ciutats, va provocar la disseminació de la pesta.

L'impacte demogràfic de la pesta negra va ser brutal. La població es va reduir a la meitat: l'any 1450 s'havia retrocedit a una població de cinquanta milions de persones a Europa. D'aquesta disminució del 50 % de la població, es calcula que la pesta en va ser responsable del 30 %. Però els efectes van ser molt més grans. Si en cinc anys desapareix un 30 % de la població, en molts llocs no hi haurà gent en edat de treballar, o es poden perdre oficis i coneixements. Una de les conseqüències va ser l'augment dels salaris. I d'aquí se'n van derivar revoltes socials: hi havia poca mà d'obra i, a més, pocs recursos per pagar uns treballadors que demanaven salaris més alts. Tot això posava dificultats al manteniment de l'equilibri social. La pesta negra va ser la causa que a Rússia s'establís la servitud, que no es va abolir fins al 1861. La servitud implicava que els serfs depenien de l'amo i no podien marxar de la terra sota cap concepte. Aquesta va ser una de les causes remotes de la Revolució Russa. A Catalunya, això també va existir: els remences (apareguts al segle XI) i els seus descendents quedaven vinculats a la terra i només podien des-

lliurar-se'n pagant la remença, una quantitat que el senyor feudal fixava arbitràriament. Això va durar fins a la sentència arbitral de Guadalupe, de 1487, emesa per Ferran II el Catòlic, que abolia els anomenats mals usos i convertia la relació senyor-serfs en un contracte d'emfiteusi amb llibertat per als pagesos de disposar de les seves persones i mobles i transferir el domini útil del mas sense autorització dels senyors directes. Això va arribar després d'un segle de revoltes.

La pesta també va tenir un gran impacte sobre la religiositat a Europa. Com queda narrat en novel·les com *El nom de la rosa*, en aquesta època van aparèixer abundants heretgies. Es creia que la pesta era un càstig diví i les sectes sorgien com a resposta. De totes aquestes heretgies, probablement la més important va ser la dels penitencials flagel·lants. Tot i que aquesta secta havia aparegut el 1259 a Itàlia, va ser durant la pesta quan es va estendre per tot Europa formant processons de fins a deu mil persones. Els flagel·lants, abillats amb túniques blanques i anant per les ciutats d'Europa, produïen una forta repercussió sobre l'esperit col·lectiu dels habitants.

L'altre fet important és el desencadenament de fortes onades d'antisemitisme. La gent necessita respostes i, moltes vegades, un «boc expiatori» serveix per canalitzar les ires. En aquells anys van ser freqüents els pogroms, o brots antisemites, acusant els jueus d'haver enverinat els pous i les fonts d'aigua potable. Es van assaltar 450 calls jueus a ciutats com Frankfurt, Nuremberg o Magúncia. A Catalunya, els calls de Barcelona i Tàrraga van ser assaltats. La pesta negra també va impactar en la cultura i les arts i va imprimir un aire pessimista a les manifestacions culturals: es vivia un ambient de fi de segle sota premisses com «morirem tots» i «això és el judici final». Encara avui queden vestigis d'aquells dies, com, per exemple, la dansa de la mort de Verges.

La pesta també va impactar en la literatura. Durant el període de la pesta negra, els monestirs van estar molt afectats per la facilitat de contagi en la comunitat, de tal manera que va començar a tenir importància la llengua vernacular. El *Decameró*, al *Quattrocento* italià, n'és un exemple.

Afortunadament, la pesta negra queda molt lluny, però encara existeix avui dia, bàsicament a l'Àsia central. El darrer cas de pesta en humans a Europa es va diagnosticar el 1947.

## Descobriment d'Amèrica

El descobriment d'Amèrica constitueix un exemple que ens pot ensenyar molt bé com es produeix una gran catàstrofe demogràfica. És l'e-

xemple històric més palpable de trobada de dos mons, un xoc de civilitzacions. L'any 1491, a Europa existien malalties transmissibles que aleshores eren ben comunes (la verola, la varicel·la, el xarampió, la diftèria, diarrees infeccioses, la grip). A Sevilla, que ja era una ciutat important, es calcula que el 30 % dels nens moria abans dels cinc anys, la majoria a causa d'alguna d'aquestes malalties. Una persona adulta, per tant, havia sobreviscut a totes elles i probablement s'havia immunitzat. A Amèrica no tenien aquestes malalties. Allí tenien paràsits intestinals, diarrees infeccioses, sífilis, febres hemorràgiques, leishmaniosi o la malaltia de Chagas. Entre 1492 i 1503, van tenir lloc els quatre viatges de Colom per les illes antillanes, Veneçuela i Centramèrica. Els castellans van fundar ciutats a Amèrica (per exemple, entre 1496 i 1519, Santo Domingo, San Juan de Puerto Rico, Santiago, l'Havana o Ciutat de Panamà).

La primera epidèmia que es descriu al nou continent va començar el 9 de desembre de 1493 a Santo Domingo i està plenament documentada. Es va produir una epidèmia de grip, probablement transmesa pels animals (porcs, cavalls) que portaven els espanyols. En les cròniques del viatge es diu: «y los animales llegaron derrengados». Se suposa que tenien la grip, i sabem que la grip dels porcs és la mateixa que la de les persones.

La segona epidèmia a Amèrica és la verola, que va començar el desembre de 1518. El 1519, entre una cosa i una altra, la població autòctona de Santo Domingo havia disminuït en un 90 %. El 1518, va aparèixer la verola a Cuba, i a partir d'aquí va passar al continent (Mèxic), on va produir una nova catàstrofe demogràfica.

El viatge d'Hernán Cortés va partir de Cuba l'any 1519 cap a Yucatán. Cortés va desembarcar a la costa central de Mèxic, on va fundar la Villa Rica de la Vera Cruz el Dijous Sant de 1519. Aquesta va ser la primera ciutat fundada a Mèxic. De Veracruz va anar a Tenochtitlan, la capital de l'imperi asteca, on va arribar el 8 novembre de 1519. En aquesta data, però, va haver de fugir per retornar a conquerir-la definitivament el 13 d'agost de 1521. Aquest viatge d'Hernán Cortés no tenia l'aprovació del governador de Cuba, Don Diego Velázquez, qui va enviar Pánfilo de Narváez en expedició per perseguir el desobedient Cortés per detenir-lo i jutjar-lo a Castella. El cronista d'aquesta expedició, Fray Toribio de Benavides, escriu a la *Historia de la Nueva España*: «Al tiempo que el capitán Pánfilo de Narváez desembocó en esta tierra, en uno de sus navíos vino un negro herido de viruelas, la cual enfermedad nunca en esta tierra se había visto. Y a esta sazón estaba toda esta Nueva España en extremo muy llena de gente, y como las viruelas se comenzasen a pegar a los indios, fue entre ellos tan grande enfermedad y pestilencia mor-

tal». El 30 de maig de 1520, va començar una epidèmia de verola a Veracruz; el setembre del mateix any, l'epidèmia ja havia arribat a Tenochtitlan. Pels cronistes que acompanyaven les expedicions podem conèixer molt bé la cronologia de les epidèmies (taula 1).

**Taula 1.**

**Epidèmies a l'Amèrica de la conquesta: 1492-1580**

<i>Data</i>	<i>Lloc</i>	<i>Malaltia</i>
1493	Santo Domingo	grip
1498	Cuba	tífus exantemàtic
1518	Antilles, Mèxic, Guatemala	verola
1520	Mèxic	verola
1521	Guatemala	grip
1531	Mèxic	xarampió
1534	Perú, Equador	grip
1539	Sud dels EUA	verola, grip
1550	Mèxic	galteres
1558	Perú	verola
1560	Brasil	verola
1575	Tot Amèrica	febres tifoides

D'altra banda, en aquest període es van produir també malalties autòctones a Amèrica, com una epidèmia al Perú, l'any 1524, que els inques van anomenar el *tictiyan* i que no se sap ben bé què era. El 1546, a Mèxic i Centramèrica hi va haver una epidèmia de *cocoliztli* (una malaltia similar al dengue o febre hemorràgica), i el 1576, a Mèxic es va estendre el *matlazahuatl* (tifus exantemàtic). Totes aquestes epidèmies van ser molt mortals.

Com es produeixen aquestes grans epidèmies? El model matemàtic de Reed-Frost (1923) ens ajuda a explicar-ho:

$$C_{t+1} = S_t \cdot (1 - q)^{C_t}$$

on:

$C_{t+1}$  són els casos que es produiran en el futur

$S_t$  són els casos susceptibles existents en la població

$1 - q$  és la probabilitat que es produeixi un contacte efectiu

$C_t$  són els malalts presents en la població

Els casos d'aquesta epidèmia que es produiran en el futur depenen dels individus susceptibles que hi ha a la població. Si la gent està immunitzada (poc susceptible) no hi haurà la malaltia i viceversa. A més, també depèn de la probabilitat que es produeixi un contacte efectiu, és a dir, que un individu en contagiï un altre. Aquesta probabilitat depèn de la densitat de població, de la dosi infectiva mínima i de la contagiositat (període durant el qual un individu allibera l'agent infecciós al medi). Tot això depèn, en darrer terme, dels individus malalts que hi ha a la població.

En un territori com Amèrica no es coneixien les malalties europees. Per tant, tota la població era susceptible a les malalties europees. Les malalties que s'hi van introduir van ser de transmissió molt fàcil i van afectar una població desprotegida. Les epidèmies contagiades pels conqueridors van ser virulentes i van provocar una alta morbiditat en una societat mancada de recursos, amb mala alimentació, poca higiene i uns costums habituals favorables al contagi (com banyar-se en col·lectivitat). El resultat: un desastre demogràfic).

També, a més, en el cas de les epidèmies a Amèrica, hi ha un altre element que cal tenir en compte. Les feines de la casa, com recollir els aliments i cuidar els animals, les feien les dones. En morir les dones, la gent literalment es moria de gana perquè no hi havia ningú que s'encarregués d'aquestes feines.

### Conseqüències de les epidèmies americanes

El nombre d'habitants d'Amèrica abans de la conquesta és incert. A l'àrea de Mèxic i a l'Amèrica Central, se suposa que l'any 1500 hi havia entre vuit i vint milions de persones. Després de l'arribada dels conqueridors, en un cens fet l'any 1595 per a la recaptació d'impostos, la població estimada era d'entre dos i quatre milions (entre un 10 % i un 50 % de l'anterior a la conquesta).<sup>1</sup> En aquesta davallada, la contribució de les malalties no es pot saber amb certesa, però es calcula que representa entre un 30 % i un 60 % de la caiguda demogràfica del segle XVI a Amèrica.

L'any 1696, Jenner va iniciar els experiments de verolització; inoculant verola bovina a les persones, va aconseguir protegir-les: Jenner havia inventat les vacunes. El darrer cas de persona infectada de verola es va

1. MCCA, R. 1995. «¿Fue el siglo XVI una catástrofe demográfica para México? Una respuesta basada en la demografía histórica no cuantitativa». *Cuadernos de Historia* 15: 123-136.

produir el 1977 a Somàlia, i ara aquesta malaltia està totalment eradicada de la terra.

## La pesta bovina

Ara presentarem un exemple d'epidèmia animal, que, malgrat no afectar directament les persones, ha tingut un gran impacte en la humanitat en diverses èpoques. La pesta bovina és causada per un virus similar al del xarampió. De fet, es creu que el virus del xarampió deriva del de la pesta bovina, del qual va divergir fa 10-12 mil anys. Originalment, el virus procedia de l'Àsia central o del Caucas. Ocasionalment havia aparegut a Europa abans del segle XVII, però no havia causat grans estralls. La pesta bovina sol matar els bovins, als quals produeix lesions de tipus hemorràgic als ulls, a la boca i als budells; unes lesions tan sagnants que la majoria d'animals mor. Al segle XIII, els dos focus principals dels virus estaven situats a Mongòlia i al Caucas. Durant aquest període, es va produir l'expansió dels mongols per Àsia i Europa, i amb els seus moviments van portar la pesta bovina fins a la frontera de la Rússia europea. En els segles següents la malaltia es va conèixer a Europa però sense causar grans problemes. L'any 1700 va esclatar la Gran Guerra Nòrdica entre Suècia i una coalició de Dinamarca, Noruega, Polònia, Saxònia, Prússia, Hamburg i Rússia. La guerra va durar fins al 1721. El moviment de tropes que travessaven Polònia i Rússia portava aparellat el moviment de bestiar per a l'avituallament. El transport de bovins des de l'interior de Rússia va estendre la pesta bovina fins a Prússia, on la van denominar *Rinderpest*. La pesta bovina es va estendre per Europa a partir de l'any 1709. Es calcula que, durant el segle XVIII, van morir a Europa uns dos-cent milions de caps de bestiar boví. En un continent amb 150 milions d'habitants, la desaparició dels bovins va tenir com a resultat la manca d'una quantitat ingent d'aliments. La malaltia va esdevenir endèmica a Europa, on es van produir brots epidèmics al llarg de tot el segle XIX. L'any 1880, amb l'expansió colonial europea vers l'Àfrica, la malaltia es va estendre també a aquest continent. L'entrada de la malaltia al continent africà va ser devastadora. Els càlculs més conservadors en xifren l'impacte en uns 225 milions de bovins morts en aquest continent entre 1880 i 1900. La malaltia es va reintroduir a Europa a partir de bestiar provinent d'Àfrica l'any 1928, però es va eradicar ràpidament.

L'epidèmia de pesta bovina a Europa durant el segle XVIII va ser un dels factors que va conduir a l'empobriment dels camperols i a la fam prèvia a la Revolució Francesa. L'aparició de la pesta bovina a l'Àfrica va



provocar un dels pitjors períodes de fam del continent per manca de llet i carn, i manca de cacera, ja que també van patir-la els bovins salvatges. Es calcula que entre un i dos terços dels massai van morir de gana a causa de la mortalitat bovina, tant domèstica com salvatge. La pesta no només va tenir un impacte social; també va tenir un gran impacte científic. Estudiant la pesta bovina, es va veure per primera vegada la transmissió de la immunitat de mare a cadell per mitjà de la llet, l'any 1711. Va ser la primera malaltia en què es van aplicar amb èxit mètodes de control poblacional per quarantena i de control de moviments (anys 1712-1715). Es va utilitzar per primer cop el termòmetre per detectar la febre producte de la infecció.

L'any 1928, es va constituir l'organisme que actualment vetlla per la sanitat animal mundial, l'Oficina Internacional d'Epizootia. A més, les escoles de veterinària van sorgir com a resultat de l'impacte de la pesta bovina. Avui en dia se sap que la pesta bovina és present en un petit reducte de l'Àfrica i que probablement l'any 2010 estarà completament eradicada.

Hem presentat alguns exemples històrics d'epidèmies per tal d'entendre més bé com es generen i difonen. Aquest coneixement ens ha de servir per estar alerta pel que fa a l'aparició (o reaparició) de malalties infeccioses transmeses entre animals i entre animals i persones.

# Terratrèmols i tsunamis: avaluació geològica dels riscos

Dr. Pere Santanach

Departament de Geodinàmica i Geofísica  
Universitat de Barcelona

He organitzat aquesta xerrada entorn de la següent llista de preguntes que he pensat que els podria interessar: Què són els terratrèmols i els tsunamis? Què els produeix? On ocorren? Se'n poden produir allí no n'hi ha hagut en temps històrics? Fins on es poden predir els terratrèmols i tsunamis? Podria haver-hi terratrèmols devastadors al nostre país? Què aporta la ciència geològica a l'avaluació del risc de terratrèmols i tsunamis?

No pretenc contestar tots aquests interrogants a fons, una tasca ingent, sinó fer una breu pinzellada però que sigui suficient per entendre el fenomen.

## Introducció

Un terratrèmol no és més que la conseqüència d'un moviment brusc d'una falla. I una falla, què és? Una falla és una fractura de l'escorça terrestre al llarg de la qual s'ha produït un desplaçament dels blocs separats per la fractura. Hi ha falles molt petites i n'hi ha de molt grosses, com la que va produir el terratrèmol d'Andaman (Sumatra), el 26 de desembre de 2004, de 500 km, o la del terratrèmol de Xile, de 800 km, el terratrèmol més gran que s'ha produït en temps històrics.

És important veure com una falla produeix el terratrèmol. En algunes falles observem que el desplaçament d'un bloc respecte de l'altre ha estat molt gran, de quilòmetres, però si el desplaçament ha estat lent i continu aleshores no es produeixen terratrèmols. Aquesta situació, no obstant això, no es dona quasi mai. El més habitual és que el fregament que hi ha a la superfície de falla n'impedeixi el moviment fins que arriba un moment en què se supera un cert llindar d'esforç i aleshores la falla fa un moviment brusc i s'allibera l'energia que s'havia acumulat. Aleshores, els blocs a banda i banda de la falla es desplacen i provoquen el terratrèmol. La ruptura brusca dura uns quants segons i en el desplaçament con-

següent s'allibera energia en forma d'ones: les roques comencen a vibrar. A partir d'un punt —l'hipocentre—, les ones s'expandeixen i fan vibrar el terreny. Aquestes vibracions són les que recullen els sismògrafs i denoten la força de sacseig que patia la terra en el moment del terratrèmol.

Així doncs, veiem que, de terratrèmols, n'hi ha de petits i de grans. Però hi ha una qüestió semàntica que cal tenir clara: s'ha de distingir entre la magnitud i la intensitat del terratrèmol. La magnitud és un número que dóna una idea de l'energia alliberada pel terratrèmol (la magnitud està relacionada amb la dimensió del segment de falla que es trenca, la seva superfície), mentre que la intensitat dóna una idea dels efectes que ha provocat (si han caigut cases, si ha fet trontollar les parets, etc.), o sigui, el que observa la gent. En terratrèmols antics només podem tenir la intensitat en diferents punts gràcies a les descripcions històriques del que va passar. A partir d'aquestes informacions sobre la intensitat, podem especular sobre la magnitud. Pel que fa a la magnitud, es parla de magnitud 5, 7, etc. I s'ha de tenir en compte que no és una escala lineal, sinó exponencial. La diferència d'energia que s'allibera entre, per exemple, 7,2 i 7,3 és molt més gran que la que s'allibera entre les magnituds 1 i 2. El terratrèmol més gran produït en temps històrics va ser el de Xile del 22 de maig de 1960, de magnitud 9,2. Va alliberar, ell sol, un terç de tota l'energia que han alliberat tots els terratrèmols des que n'hi ha registre històric.

Respecte de la qüestió del lloc on es produeixen els terratrèmols, és interessant fer una ullada al mapa de les zones on hi ha els terratrèmols al planeta; s'observa que coincideixen amb els límits de les plaques tectòniques. En aquestes zones es produeixen moviments entre plaques d'es-corça terrestre.

La capa superficial de la terra és la litosfera, una capa elàstica que es doblega una mica, però que, si s'excedeix un cert llinar, es trenca i es produeixen les falles. Importants zones de falles limiten les plaques que es belluguen sobre l'astenosfera, una capa més plàstica i que no es trenca; en uns punts, unes se separen de les altres, i en altres llocs, s'enfonsen una per sota de l'altra. En les zones de fricció hi ha una quantitat enorme de falles i justament aquí és on es produeixen la majoria de terratrèmols. A vegades també poden ocórrer terratrèmols lluny d'aquestes vores, enmig d'una placa, per transmissió de les forces que s'exerceixen a les zones de contacte de les plaques.

Les plaques es belluguen les unes respecte de les altres a diferent velocitat mitjana. Les falles situades a prop de les vores de les plaques tenen taxes de lliscament superiors a 10 mm/any. Les situades a l'interior de les plaques tenen taxes mitjanes de lliscament per sota de 0,1 mm/any, i les que estan a l'interior de les plaques, però a prop de les seves vores, es belluguen a

velocitats entre 0,1 i 1 mm/any. Mentre el fregament bloqueja el moviment de les falles, es va acumulant esforç fins que, superat un cert llindar, la roca es trenca i es produeix un moviment brusc i, com a conseqüència, una sacsejada sísmica. Com més a prop s'està de la vora de la placa, més ràpida és la velocitat del moviment i més curt és el temps de recurrència entre terratrèmols: un terratrèmol es pot produir cada cent anys. A l'altre extrem, a l'interior de les plaques, com que el moviment és molt lent, el temps de recurrència és molt alt, de l'ordre de deu mil anys o més. I en zones a una certa distància de les vores de la placa, un entremig, entre cent i mil anys. Això és important per entendre la predicció i la previsió.

Els tsunamis són una conseqüència secundària del moviment d'una falla. Una ruptura d'una falla sota el mar produeix un moviment que causa una gran onada. Aquesta ona es diferencia de les onades ocasionades pel vent en el fet que, en aquestes últimes, és la part superficial del mar la que es mou, mentre que les onades provocades per un tsunami s'originen des de baix i posen en moviment tota la columna d'aigua del mar. Això desprèn una energia enorme a mesura que l'onada es propaga cap a terra. Mentre el mar és profund no passa res, només s'observa una oscil·lació del nivell del mar sense que els vaixells en quedin afectats. Però quan l'onada trenca a la costa, aleshores, les ones topen amb una barrera i això fa que s'alliberi tota aquesta energia i que es produeixin unes grans onades que ho recobreixen tot. La predicció dels tsunamis consisteix en la predicció dels terratrèmols marins que els causen.

Respecte del risc, s'ha de diferenciar entre risc i perillositat. Perillositat és la probabilitat que en un període de temps passi un desastre (com una riuada o un terratrèmol). Risc és el producte de la perillositat per la vulnerabilitat, entenent vulnerabilitat com allò que pot ser malmès, tant persones com béns materials. L'aportació de la geologia fa referència a la perillositat. El geòleg aporta dades per determinar la probabilitat que es produeixi un fenomen geològic en un lloc precís. En el cas que ens ocupa, la probabilitat que en un lloc concret, i a causa d'un terratrèmol en qualsevol punt, el terra vibri amb una acceleració determinada. Intentaré explicar alguns aspectes de les limitacions i dificultats a determinar la perillositat dels terratrèmols. Ens agradaria poder-los predir totalment, però això ara com ara no és possible.

### Perillositat sísmica

En la perillositat sísmica s'han de considerar tres elements: 1) la font sísmica, és a dir, la falla o estructura que produeix el terratrèmol; 2) l'atenuació de les ones que es propaguen; 3) l'estructura geològica del lloc

en qüestió. La geologia està present en els tres elements. En el lloc, perquè no és el mateix que la zona estigui sobre roca ferma o sobre sorra. En l'atenuació, perquè la manera en què s'atenuen les ones depèn de les roques que travessen. I la font sísmica, que són les falles. En aquesta exposició ens centrarem sobretot en la font sísmica, el lloc d'origen del terratrèmol.

El primer que cal fer és caracteritzar la font, descriure'n la localització i la geometria. S'ha de definir quina seria la magnitud del terratrèmol màxim, aquell que es produeix quan la falla es trenca tota sencera d'un sol cop. Això es pot deduir mitjançant l'estudi de la falla: es pot calcular i pot servir per preveure'n els efectes. Suposant que el terratrèmol màxim té una certa periodicitat, aleshores cal determinar-ne la recurrència.

Els primers que es van dedicar a estudiar els terratrèmols i a fer càlculs de la perillositat van ser els físics, que es van aproximar al tema estudiant els registres dels sismògrafs i utilitzant els catàlegs històrics. L'aproximació clàssica dels sismòlegs es basa a determinar les àrees en què l'energia que s'allibera (o quantitat de terratrèmols que hi ha en el temps) és homogènia. Amb aquesta aproximació als terratrèmols no cal descriure les falles exactes.

Com es determina el terratrèmol màxim amb aquesta aproximació, si no es coneixen ni estudien les falles? Doncs es parteix dels catàlegs de terratrèmols, uns catàlegs que cada país ha elaborat. Des de començaments del 1900 hi ha sismògrafs i dades instrumentals que conformen un registre d'uns cent anys, però, a més, i partint dels terratrèmols coneguts en temps històrics, es reconstrueix el registre més llarg possible. Sobre la base d'aquests catàlegs, es fan uns gràfics relacionant la freqüència (a les ordenades, quantitat de terratrèmols acumulats en el temps) amb la magnitud o intensitat (a les abscisses). A partir d'aquests gràfics es pot extrapolar el terratrèmol màxim (1 grau de magnitud superior al més gran ocorregut històricament) i la seva freqüència i, per tant, el temps de recurrència, dades bàsiques per calcular la probabilitat d'ocurrència.

### **Caracterització de falles sismogèniques**

Què cal mirar en una falla activa, és a dir, una falla que produeix terratrèmols? Primerament s'han de delimitar, obtenir les coordenades extremes, determinar-ne el límit inferior i el cabussament (inclinació). S'ha de determinar quin tipus de falla és dins les tipologies que s'han descrit. Després cal determinar, a partir de la geologia, quin és el sisme màxim

que pot fer aquesta falla, la seva recurrència i el temps transcorregut des de l'últim terratrèmol. Hi ha una ciclicitat que és important per als càlculs. L'estudi dels terratrèmols del passat a partir del registre geològic constitueix la paleosismologia. A Itàlia s'ha fet l'estudi paleosísmic en tot un seguit de segments de falles distribuïts al llarg dels Apenins. Les falles s'han trencat en anys diferents i han produït terratrèmols al llarg de la història. En els estudis sobre aquestes falles s'han pogut establir taxes de recurrència dels moviments sísmics.

En l'estudi de les falles, determinem sobre el terreny el lloc on s'ha produït la ruptura. Quan es produeix un terratrèmol, moltes vegades hi ha un desplaçament en vertical que provoca un petit escarpament (per exemple, en un terratrèmol de magnitud 6,5 podem trobar un escarpament de mig metre aproximadament). En passar el temps, l'escarpament es va erosionant i a la seva base s'acumula terra i pedres arrossegades per l'escorriment, segons la geologia de la zona. Al cap del temps, es pot produir un nou moviment de la falla i es torna a reproduir el procés. La idea és que, en un lloc en què la falla ha estat activa, cal buscar-hi una secció, els antics escarpaments i els tascons sedimentaris dipositats al peu dels escarpaments i datar-los. Per aquest procediment podem conèixer la freqüència dels terratrèmols en aquesta zona.

Per tant, per fer els estudis sismològics, hem de buscar falles actives. Si antigament ja han produït algun terratrèmol, ja sabem on anar a buscar-ne. Si no n'han produït perquè estem en zona d'interior de placa (com al nostre país), hem de buscar criteris geomorfològics que ens indiquin que un front muntanyós és actiu. Per posar-ne un exemple proper, a la localitat de Mont-roig del Camp es troba la falla del Camp, que limita el Camp de Tarragona amb les muntanyes de Prades. Una mica separat de les muntanyes hi ha l'escarpament de Mont-roig del Camp. Es tracta d'una falla d'activitat molt lenta, de freqüència tan baixa que en temps històrics no hi ha hagut cap terratrèmol lligat a aquesta falla. Per criteris geològics vam estudiar-la, malgrat la seva baixíssima activitat. Primerament, vam fer un estudi molt detallat de la zona de la falla, fent la interpretació geològica i geomorfològica, per tal de disposar d'informació que ens permetés decidir on excavar unes rases. A les rases vam poder observar el desplaçament de la falla amb el corresponent tascó col·luvial. Vam datar els materials amb  $^{14}\text{C}$  per saber-ne l'edat. Fent esquemes de la zona, vam anar reconstruint la història dels últims temps de la falla. En aquesta falla hem obert vuit rases de quatre metres de fondària per estudiar-ne els moviments. Hem conclòs que, en els darrers 300.000 anys, la falla del Camp ha produït un mínim de sis grans esdeveniments sísmics. Hem pogut determinar-ne la freqüència anual, que

podríem situar en un terratrèmol cada 30.000 anys (tenint en compte el registre dels darrers 125.000 anys). És notable que, d'una falla de la qual no hi ha constància històrica que hagi produït mai cap terratrèmol, es pugui demostrar, mitjançant l'estudi del terreny, que sí que n'ha produït. I amb aquesta informació es pot avaluar, aleshores, la seva magnitud i recurrència.

No sempre es poden observar els esdeveniments individuals. Es poden buscar superfícies de referència, datar-les i veure quants metres s'ha desplaçat la falla en un temps determinat. Per exemple, a la falla del Camp de Tarragona vam trobar una taxa de lliscament de 0,2 a 0,8 mm/any. Tenint en compte la dimensió de la falla, aquesta dada ens permet obtenir una estimació de la recurrència. Aquests estudis han permès concloure que les falles grans produeixen terratrèmols amb major freqüència que la previsible a partir de l'extrapolació del comportament de les falles petites.

Amb totes aquestes dades es fan els càlculs de perillositat. Podem saber on es pot produir un terratrèmol, ja que podem detectar quines falles són actives. Podem saber quina magnitud pot tenir el màxim terratrèmol esperable mesurant la falla; i podem tenir una probabilitat que es produeixi en un període de temps donat. El que no podem saber és exactament quan es produirà.

En el cas de la falla del nord d'Anatòlia, ens trobem davant d'un sistema de falles amb molts segments. S'ha determinat la cronologia dels terratrèmols grans d'aquesta falla fins a l'actualitat. S'observa que hi ha falles que s'han trencat en anys consecutius, ja que la tensió que s'acumula a l'extrem d'una falla, després del trencament d'un segment, fa que sigui més fàcil que es trenqui el segment immediatament consecutiu que no pas un segment situat en un altre lloc. L'any 1999, es va produir el terratrèmol d'Izmit. Veient la seva situació geogràfica, es pot predir que el proper terratrèmol se situarà a la zona d'Istanbul, i que probablement succeirà en un període de 10-20 anys. Les autoritats turques en són ben conscients: hi ha una certa reorganització social i s'està destinant molt d'esforç científic per estudiar la zona del mar de Màrmara, per on passa la falla del nord d'Anatòlia.

A la península Ibèrica també hi ha hagut terratrèmols catastròfics. El darrer va tenir lloc el dia de Nadal de 1884 a la província de Granada, i hi van morir prop de mil persones. A Catalunya, al segle XV, hi va haver la sèrie d'Olot, molt activa. Aquests terratrèmols tenen una recurrència molt gran (uns quants milers d'anys), ja que no estem en una vora de placa. El més probable és que el proper terratrèmol a Catalunya no passi a la zona de falles d'Amer i Olot, actualment en recàrrega energètica,

sinó que passi en un lloc on no n'hi hagi hagut cap de gran, a les zones on hi ha falles amb activitat molt lenta. Per això és interessant estudiar la geologia en zones de falles lentes.

La perillositat sísmica té incidència en les normes constructives de tots els països. El BOE espanyol publica un mapa de perillositat amb unes normes constructives en funció de la perillositat de les zones. Però en zones que no es consideren peril·looses, com per exemple Galícia, tal com ho publicava el BOE de 1995, es van produir terratrèmols durant els anys 1996 i 1997. Es podrien haver predit? La resposta és afirmativa, ja que els mapes del BOE es basen únicament en els catàlegs sísmics, independentment de l'estudi de les falles actives. A Galícia hi ha moltes falles amb aspecte d'estar actives que s'haurien d'estudiar per predir millor els esdeveniments. Al llevant de la Península, l'estudi de les falles ens indica una zona de moltes falles al sud del delta de l'Ebre, a la zona del Maestrat, que cal anar estudiant.

Es pot concloure que els terratrèmols són previsibles en certs aspectes. A partir d'aquests aspectes previsibles es poden prendre mesures de precaució per estar preparats per mitigar-ne els efectes. Podem preveure on poden passar, quina magnitud poden tenir, quina probabilitat hi ha que passin; el que no podem preveure és el moment i el lloc exacte en què tindran lloc.



## L'aire de les ciutats: trànsit i partícules

Xavier Querol

Institut de Ciències de la Terra «Jaume Almera»  
CSIC

Des de fa anys hi ha una preocupació pel problema del trànsit a les ciutats i la contaminació atmosfèrica, especialment pels relativament elevats nivells d'òxids de nitrogen i de partícules en suspensió. Avui parlarem sobre atmosfera i contaminació, descriurem les característiques principals de les partícules en suspensió, veurem per què es mesuren, quins efectes tenen, quines són les seves principals fonts d'emissió, quina contribució hi ha d'episodis naturals o d'antròpics i, finalment, veurem com estem a casa nostra, comparant els nostres nivells de contaminació amb els d'altres membres de la Unió Europea, i descriurem la legislació que s'està desenvolupant.

La contaminació atmosfèrica es coneix des de fa molt de temps. S'ha demostrat que una persona momificada trobada al desert del Gobi (anomenada *The Beauty of the Lowland*) va morir per inhalació de sutge i pols del desert ara fa uns quatre mil anys (1800 aC). Ja l'any 500 aC, Lao Tse va escriure que l'home produïa un impacte en el medi ambient que es traduïa en una disminució de la qualitat de l'aire. El 300 dC, a York, els romans van adonar-se que la producció de cervesa produïa un impacte en la salut humana per les emissions de contaminants atmosfèrics. L'any 1180, el primer epidemiòleg de l'Estat espanyol, Maimònides, va observar: «A les ciutats, a causa de l'alçada dels edificis i dels carrers estrets, així com de les emissions que produeixen els seus habitants, l'aire es deteriora».

A l'Estat espanyol, la Llei de protecció de l'ambient atmosfèric, el gran marc que preveu les emissions i coordina totes les accions referents a la qualitat de l'aire, és de 1972. El gener de 2006, el Ministeri de Medi Ambient en va presentar un nou esborrany. En la llei antiga es defineix la contaminació atmosfèrica com «la presència en l'aire de matèries o formes d'energia que impliquen risc, molèsties o danys per a les persones o qualsevol tipus de bé». A hores d'ara (inici de 2006), l'única comu-

nitat autònoma que té una llei d'atmosfera pròpia és la gallega, una llei de l'any 2002. Aquesta llei ha redefinit contaminació atmosfèrica i l'ha portat a uns termes més actuals: «introducció a l'atmosfera de substàncies o formes d'energia, que per si soles o com a conseqüència de la seva transformació presenten un risc per a la salut humana, el medi ambient o els ecosistemes». Aquestes definicions són concretes, però la seva aplicació estricta es veu dificultada, ja que no coneixem totes les substàncies que tenen un impacte negatiu en la salut o els ecosistemes i que són a l'atmosfera. A mesura que la investigació avança es va ampliant la llista de components perillosos, la qual, per tant, serà més llarga d'aquí a vint anys. D'altra banda, per a alguns components (per exemple, per a l'arsènic, que és cancerigen), no hi ha un llindar concret de protecció, ja que la sensibilitat és diferent per a diferents individus. Finalment, s'ha de tenir en compte que qualsevol activitat emet substàncies a l'atmosfera.

Quines escales tenim pel que fa a l'emissió de contaminants? L'escala més gran afecta tot el planeta: és l'escala global, on els contaminants emesos a qualsevol indret poden afectar qualsevol altra part del planeta o zones molt extenses. Exemples d'efectes a escala global són els prou coneguts del canvi climàtic per l'emissió de gasos d'efecte d'hivernacle, o la destrucció de l'ozó estratosfèric. A una escala espacial no tan gran es donen els fenòmens de mesoescala, un exemple dels quals és la pluja àcida. En el cas de la pluja àcida, els efectes es van notar a Escandinàvia, però la majoria de contaminants s'emetien a l'Europa Central, a centenars o milers de quilòmetres de les zones receptores. Un altre exemple de mesoescala el constitueix l'ozó troposfèric, que es forma a partir d'uns precursors que s'emetien a la ciutat o des de la indústria, però els efectes del qual es troben a desenes o centenars de quilòmetres a sotavent. Finalment, tenim el que ens interessa per a les ciutats, que és la microescala. Ens fixem en els impactes d'una indústria en una zona determinada o de les emissions del trànsit en l'àmbit local. La tendència actual és integrar totes les escales de manera que es pugui seguir un contaminant des del seu origen (per exemple, en un tub d'escapament) fins a la seva dinàmica a l'atmosfera i els seus efectes en el canvi climàtic.

### Una mica d'història de la legislació

Al llarg de la història hi ha dates especials, com la del desembre de 1952 a Londres, on, en una setmana, van produir-se milers de morts atribuïbles a les emissions de contaminants atmosfèrics. Aquests esdeveniments van activar diferents acords internacionals, com l'acord d'Estocolm, de

1972, per lluitar contra la contaminació atmosfèrica i la pluja àcida, o el de Montreal, el 1987, per lluitar contra el forat d'ozó, o el de Rio de Janeiro, el 1992, per actuar contra l'emissió de gasos d'efecte d'hivernacle.

A partir d'aquestes reunions es va generar una legislació específica per tal d'aconseguir les fites acordades. La legislació s'ocupa de les emissions (IPPC: prevenció i control integrat de la contaminació, 1996/61/CE) i de les immissions (qualitat de l'aire), que és del que ens ocuparem ací. El 1996, es va aprovar la directiva «mare» de qualitat de l'aire (1996/62/CE), que va establir la necessitat de desenvolupar directives «filles» per al control i la vigilància de nivells de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, Pb, O<sub>3</sub>, benzè, CO, PAH, Cd, As, Ni i Hg. De 1999 a 2006, aquestes directives s'han anat desenvolupant i han entrat en aplicació (1999/30/CE, 2000/69/CE, 2002/3/CE, 2004/107/CE, i revisions de 2006). Les fites de reducció dels contaminants s'han d'aconseguir entre els anys 2010 i 2015.

## Emissions

En una zona urbana, el principal focus emissor és el trànsit, que emet tota una sèrie de contaminants (monòxid de carboni, diòxid de carboni, hidrocarburs, òxids de nitrogen, carboni elemental, carboni orgànic, metalls...). Els motors dièsel són la principal font d'emissió urbana de partícules ultrafines (inferiors a 0,1 µm), amb un potencial impacte en la salut molt important. Les centrals tèrmiques, per generar energia, emeten els mateixos contaminants, a més de vanadi i níquel (si la central usa fuel), o arsènic i seleni (si crema carbó). Diferents processos industrials (processos químics, metal·lúrgics, petroquímics, alimentaris) produeixen diferents contaminants. No hem d'oblidar la ramaderia, responsable de l'emissió d'amoniac, un contaminant molt important que forma aerosols secundaris. L'any 2000, el 96 % de les emissions de NH<sub>3</sub> a l'atmosfera de països de la Unió Europea provenia de la ramaderia. D'altra banda, hem de considerar també els focus naturals d'emissió, com ara l'aerosol marí, la resuspensió del sòl, les intrusions africanes, les emissions volcàniques, les emissions de compostos orgànics volàtils, les emissions producte de processos microbians, etc.

## Els transport dels contaminants

A banda de les emissions, també hem de considerar les condicions de dispersió dels contaminants emesos, que influeixen de forma decisiva

en els nivells d'immissió i, per tant, en el grau de contaminació a què es veuen sotmesos els components de la biosfera. Així doncs, és fonamental conèixer com es produeix el transport i la dispersió de contaminants en l'atmosfera. En condicions d'estabilitat (per exemple, quan hi ha inversió tèrmica), la manca de renovació de l'aire a les capes baixes fa que es produeixi una gran acumulació de contaminants a la superfície. A més de les condicions atmosfèriques, és essencial conèixer on i com es produeix l'emissió. Una xemeneia elevada d'una central tèrmica afavoreix la dispersió en emetre els contaminants a una altura considerable, mentre que un tub d'escapament emet baixes quantitats de contaminants però molt a prop dels ciutadans i, per tant, amb un potencial impacte superior.

### Les partícules i els seus efectes

Podem parlar indistintament de partícules o d'aerosols. Es defineixen com un conjunt heterogeni de material sòlid o líquid (a excepció de l'aigua pura), presents en suspensió en l'atmosfera. La primera raó per estudiar-los és pel seu impacte en la salut humana i en els ecosistemes terrestres i aquàtics, i pels seus efectes en la modulació del clima, en la degradació de materials i en la visibilitat. Encara que des dels anys cinquanta o setanta els nivells de la major part dels contaminants s'han reduït molt marcadament, l'any 2004 l'Organització Mundial de la Salut (OMS) va anunciar que la contaminació atmosfèrica per material particulat, al nivell que tenim actualment a les ciutats, pot «causar una marcada reducció de l'esperança de vida, principalment per malalties cardiovasculars i pulmonars». S'ha calculat que, com a mitjana, la vida d'un ciutadà europeu es redueix en nou mesos a causa de la seva exposició a l'aire contaminat per partícules. A Barcelona mateix, estudis de l'Institut Municipal d'Investigacions Mèdiques (IMIM) han mostrat que es produeix un increment de la mortalitat proper a l'1 % per cada increment de la mitjana anual de  $10 \mu\text{g m}^{-3} \text{PM}_{10}$  a l'aire de la ciutat.

L'impacte en la salut deriva del fet que les partícules poden arribar a entrar molt endins del sistema respiratori. Les partícules d'entre 5 i  $10 \mu\text{m}$  es retenen a la tràquea, però amb la disminució de la mida, les partícules poden entrar més i més endins fins als alveòls. Les partícules ultrafines poden fins i tot traspasar el teixit alveolar i arribar al torrent circulatori i produir malalties cardiorespiratòries.

D'altra banda, les partícules afecten també el clima. Segons el darrer informe de l'IPCC-2001, els aerosols tant poden escalfar l'atmosfera com refredar-la. Gairebé tots els aerosols reflecteixen radiació i, per tant, con-

tribueixen al fet que l'escalfament de la superfície de la Terra per la radiació solar sigui més baixa. Els aerosols de sulfat refreden tant com pot escalfar el  $\text{CO}_2$ , ja que absorbeixen la llum ultraviolada del sol i perquè formen nuclis de condensació, la llavor a partir de la qual creixen els núvols, que reflecteixen part de la radiació solar. En canvi, els vehicles dièsel i la crema de rostolls produeixen carboni elemental (popularment, el sutge), el qual absorbeix llum infraroja i visible i produeixen un escalfament. Finalment, les emissions de partícules d'àcids sulfúric i nítric són a la base de la pluja àcida, de gran impacte en ecosistemes terrestres i aquàtics des de fa un parell de dècades, però que ha anat disminuint.

### Com són les partícules?

La granulometria típica es distribueix en partícules de diferents mides. Tenim unes partícules finíssimes, de menys de cent nanòmetres (un nanòmetre és equivalent a la milionèsima part del mil·límetre), anomenades ultrafines; es generen per nucleació, per exemple, per condensació de vapors orgànics. També són partícules ultrafines una gran part de les partícules carbonoses produïdes pels motors dièsel. Aquestes partícules són molt inestables i en qüestió de minuts o d'hores s'acumulen en una moda de menys d'1 micròmetre ( $\mu\text{m}$ ) de diàmetre (1  $\mu\text{m}$  és equivalent a la milèsima part del mil·límetre). El que entenem nosaltres popularment per pols es troba en la moda mecànica, en diàmetres d'1 a 10  $\mu\text{m}$ . Les partícules minerals naturals i l'aerosol marí tenen una mida de partícula generalment entre 5 i 10  $\mu\text{m}$ . Així doncs, l'origen de les partícules controla la seva mida de gra, i la composició química variarà segons la seva granulometria. Les partícules ultrafines, en zones urbanes, procedeixen en una elevada proporció dels motors dièsel i tenen un elevat component carbonós. A la moda d'acumulació ens trobem sobretot amb aerosols carbonosos, així com també de sulfat i nitrat, mentre que les partícules de més de 10  $\mu\text{m}$  de diàmetre són majoritàriament l'aerosol marí i la pols mineral. Si estudiem l'anomenat  $\text{PM}_{10}$  (partícules inferiors a 10  $\mu\text{m}$ ), que és el que ens marca la legislació, tindrem tota la barreja de partícules, des de les ultrafines fins a les de 10  $\mu\text{m}$ , amb tota la barreja de contaminants que comporta. També podem concentrar-nos en la fracció fina (inferior a 1  $\mu\text{m}$ , l'anomenat  $\text{PM}_1$ ) i aleshores ens centrem més en els sulfats, els nitrats i les partícules carbonoses de les emissions antropogèniques.

També podem classificar les partícules en primàries, si s'emeten directament, i secundàries, si es formen per reacció d'uns gasos precursors (un exemple en seria la reacció d'oxidació del  $\text{SO}_2$  gas per formar àcid sul-

fúric). Pel seu origen, podem classificar les partícules en naturals i antropogèniques. L'emissió de partícules primàries per fenòmens naturals prové de la resuspensió, que pot ser local o externa (com la pols de la construcció o pols africana), o de l'aerosol marí. L'emissió de partícules primàries per activitats humanes tindria el seu origen en l'abració del ferm de rodament de les vies de trànsit, dels frens dels vehicles, emissions directes de sutge dels vehicles, emissions de cendres de centrals tèrmiques, emissions d'indústries, com fàbriques de ciment o de ceràmica, o activitats de la construcció. Aquestes partícules primàries tenen una composició química carbonosa, de sals marines o de matèria mineral (en diem cortical perquè conté els elements típics de l'escorça terrestre), i una granulometria bàsicament grollera (d'1 a 10  $\mu\text{m}$ ). Les partícules secundàries naturals es formen, per exemple, per l'oxidació del  $\text{SO}_2$  emès pels volcans o dels compostos orgànics volàtils emesos per la vegetació, que reaccionen per formar partícules orgàniques. Tenen una composició química diferent, amb predomini de sulfats, nitrats, amoni, carboni orgànic i metalls, i una granulometria fina (inferior a 1  $\mu\text{m}$ ).

Si ens fixem en els fluxos globals a escala planetària, tenim que les emissions naturals sumen 3.060 milions de tones que estan contínuament en suspensió a l'atmosfera. En canvi, les emissions antropogèniques són «només» 370 milions de tones. D'aquestes, el 80 % són partícules secundàries. Això ens diu que, pel que fa a les emissions antropogèniques, és molt més important allò que s'emet com a gas i que després passa a ser partícula que no pas el que s'emet directament com a partícula. En canvi, pel que fa a les emissions naturals, les partícules primàries constitueixen el 93 %.

Obviament, dintre de les zones urbanes aquesta proporció d'òrigens de les partícules és totalment diferent i predomina tant en massa com en nombre la contribució antròpica sobre la natural.

La concentració de partícules es pot mesurar en massa (micrograms per metre cúbic, com indiquen les directives de qualitat de l'aire) o en nombre (partícules per centímetre cúbic). El nombre de partícules està molt influenciat per les emissions antròpiques, ja que aquestes emeten moltes partícules ultrafines. En canvi, la massa pot estar influenciada per les contribucions naturals o per la resuspensió de la pols. Així, un gra de sorra (molt groller) pot pesar molt més que mil partícules de sutge, però és solament una partícula.

La nostra investigació està encaminada a intentar separar la contribució dels diferents focus d'emissió en l'aerosol de diferents zones. Per exemple, al massís del Montseny, en una estació enmig d'un bosc d'alzinar que podem pensar és un entorn relativament poc contaminat, l'aerosol

presenta una elevada proporció de contribucions antròpiques, com ara el sulfat, el nitrat, l'amoni (els dos primers, emesos des de les ciutats properes i la indústria), matèria mineral de pedreres i de les vies de trànsit, a més de contribucions de l'aerosol marí, de la pols africana en períodes d'intrusió i, també, de les emissions biogèniques de la vegetació. Al centre de Barcelona, a més del que trobem al Montseny, s'hi afegeixen partícules que provenen de les emissions del trànsit rodat, la demolició i les centrals tèrmiques, i les de resuspensió de l'erosió del ferm de rodament. Per complicar-ho una mica més, aquestes partícules interaccionen entre elles i formen una barreja complexa. Nosaltres empram eines analítiques i d'estadística multivariant per determinar les fonts d'emissió de les partícules i així poder orientar els gestors de la qualitat de l'aire sobre les mesures adequades que cal prendre en cada cas.

## Mesures

La major part de les xarxes de vigilància de la qualitat de l'aire mesuren la concentració de partícules en massa, però des del punt de vista científic és tant o més interessant mesurar la concentració en nombre, que és més bon indicador de les emissions antropogèniques de mida petita, les de més potencial impacte ambiental. És un tema tècnic ara en discussió, que molt probablement es resoldrà fent que s'hagi de mesurar no només la massa de partícules sinó també el seu nombre.

La massa es pot mesurar en temps real, que és tal com es mesura a les xarxes de qualitat de l'aire d'arreu del món. Té l'avantatge que els nivells es poden mesurar contínuament i, en cas d'alarma, avisar la població immediatament. Com a desavantatges, la mesura a vegades presenta defectes i costa que la qualitat de la mesura es mantingui constant al llarg del temps.

D'altra banda, les mesures dels equips manuals consisteixen a obtenir filtres (procedents del filtratge de volums grans d'aire) acumulats en un nombre determinat d'hores, que cal anar a recollir diàriament. És el mètode de referència de la Unió Europea. Consta d'un aparell amb un capçal que permet que passin les partícules inferiors a 10 o 2,5  $\mu\text{m}$  que queden retingudes en els filtres. Com a avantatge, permet l'anàlisi química del filtre, i així s'obté informació addicional sobre com són les partícules. Com a desavantatges, s'ha d'esmentar que a vegades hi ha artefactes de mesura, la informació s'obté amb retard respecte de l'episodi de contaminació i té més costos de personal.

En el nostre grup de recerca del CSIC, als filtres analitzem 57 paràmetres, cosa que ens permet determinar amb molta precisió la com-

posició dels aerosols. Aplicant anàlisis multifactorials, podem extreure els factors principals que expliquen la composició química. Per exemple, en un estudi a Huelva, vam poder determinar els elements que ens representen la part cortical (Al, Fe, Ca), els del component marí (Na, Cl), els de la indústria ( $\text{SO}_4$ , Ni, V, d'una banda, i As, Bi, Zn, Cu... de l'altra) i els del trànsit ( $\text{NO}_3$ , C...). A més, podem donar aquesta informació de forma quantitativa, és a dir, podem deduir el percentatge de la massa de partícules que vénen de cadascun dels components (trànsit, indústria, pols mineral, etc.). Veiem, per exemple, que, a Madrid, el 50 % d'aquesta massa prové del trànsit, i a Barcelona, el 34 %. Com a cas molt diferenciat, a les illes Canàries, la major part de l'aerosol prové de fonts marines i de la pols africana, i el trànsit hi contribueix molt poc. Aquesta informació és d'utilitat per als gestors de la qualitat de l'aire i l'Administració per actuar allí on calgui per reduir les emissions fins als límits estipulats per les directives d'àmbit local o de la Unió Europea.

### Alguns exemples de casos reals

Moltes vegades, és fàcil d'esbrinar l'origen de la contaminació. En un estudi de la contaminació antropogènica local, al País Basc l'any 1998 vam enregistrar la variació temporal dels nivells de partícules a sis localitats (una de rural i cinc d'urbanes). Les mesures ens mostraven un increment de partícules en dies laborables i un descens en caps de setmana. Això ens indicava, sense necessitat de més estudis de detall, que el trànsit era el responsable principal de la contaminació atmosfèrica.

En general, els episodis de contaminació local (sobretot del trànsit) són més importants a l'hivern que a l'estiu, ja que a l'hivern es donen períodes molt llargs d'estabilitat tèrmica que comprimeixen la capa de barreja cap al terra. Els contaminants es queden a prop d'on s'han emès. En canvi, a l'estiu, les brises i altres circulacions convectives homogeneïtzen l'atmosfera i transporten la contaminació urbana cap a les zones dels voltants, fet que produeix el que anomenem episodis regionals.

A continuació descriurem uns episodis regionals típics de la zona mediterrània. Els contaminants són emesos per l'home però la seva circulació està determinada pel patró meteorològic típic de l'estiu a la zona. Durant molts dies a l'estiu, l'anticicló de les Açores dona una situació isobàrica sobre la Península de pantà baromètric. En un mapa sinòptic s'observa molta distància entre les isòbares, cosa que indica poca circulació d'aire i, per tant, poca dispersió. Sota aquestes condicions no hi ha vents de mesoescala i el vent és activat principalment per la brisa



marina. La brisa entra, però les serralades litorals que s'estenen per tot el llevant peninsular fan de paret, la qual cosa obliga les masses d'aire a elevar-se. Els fluxos de vent en alçada van arrossegant aquestes masses cap al mar una altra vegada, de manera que, com han demostrat els estudis de Dr. Millan i col·laboradors (del CEAM a València), la contaminació d'ozó (un contaminant secundari, igual que molts components de les partícules) s'acaba acumulant entorn de l'arxipèlag dels Columbrets, davant de Castelló, on es produeix la subsidència de les masses d'aire envellides.

A Barcelona, alguns dies d'estiu abans que comenci a circular el trànsit per la ciutat a les 6 del matí, ja s'hi forma una capa d'aire superficial bruta: conté els contaminants que han estat recirculant en les cel·les de recirculació activades per les brises de terra cap a mar a la nit i a la matinada i de mar cap a terra durant el dia. Per aquesta dinàmica es forma una estratificació amb diferents capes de contaminació injectades a diferents alçades en funció de com es produeix la brisa. El mateix patró es reproduceix a tot el llevant de la Península.

D'episodis d'entrada de masses d'aire contaminades procedents d'Europa, cada any en tenim un parell. Es manifesten per una elevació dels nivells de  $PM_{10}$ , produïts per l'advecció de masses carregades de contaminants (entre ells sulfat) des d'Europa.

Finalment, tenim els episodis naturals. Són tan importants que les directives els consideren una causa possible de superació dels nivells límit de les directives de qualitat de l'aire. A les illes Canàries, les intrusions africanes causen la superació dels límits en una freqüència molt gran (episodis de calima), mentre que els contaminants antropogènics hi representen una fracció molt petita. A Barcelona, els episodis africans representen 25 sobre 90 superacions del valor límit diari de  $PM_{10}$  de  $50 \mu g m^{-3}$ , mentre que la directiva actual permet 35 superacions d'aquest valor. Tot i que a Barcelona la majoria de superacions del valor límit diari es deuen a episodis de contaminació antròpica local, els episodis naturals també representen una fracció important. A Barcelona, la major part de la contaminació per partícules és antròpica, principalment dels motors dels vehicles, així com també de la resuspensió del ferm de rodament i dels materials que resulten de l'erosió de les rodes i dels frens. Una part important també és atribuïble a la construcció i la demolició, i una altra, a la indústria i la generació elèctrica. Podríem tenir la mateixa o menor emissió del trànsit que a Londres o Amsterdam, però allí tenen una pluviositat més elevada, i la pluja, a més de netejar l'atmosfera, neteja la superfície del ferm de rodament i arrossega cap al clavegueram les partícules sedimentades, la qual cosa fa que aquest problema

es converteixi en un de contaminació de l'aigua d'escorrentia superficial urbana. A Barcelona hi plou molt menys que en aquestes ciutats i la matèria mineral es resuspèn. Els elevats nivells de partícules en determinades estacions superen els límits que proposa actualment la Comissió Europea.

Cal que apliquem les reduccions que puguem obtenir amb les millors tècniques disponibles. S'han d'establir urgentment plans i programes per reduir les emissions o per afavorir tecnologies netes d'emissions en el trànsit i la indústria, o bé organitzar polítiques per reduir el trànsit; per exemple, millorant el transport públic. Si no es prenen mesures ara, probablement l'any 2010 no complirem el que ens exigeix la directiva de la Comissió Europea.



Fotografia d'una intrusió de masses d'aire africà en altura sobre una capa límit contaminada, que deixa solament una estreta massa d'aire net entre ambdues masses. Fotografia de Xavier Querol, 9 d'octubre de 2006, sobrevolant Sevilla.

# El Mediterrani, compendi de la interacció home-medi marí

Dr. Javier Romero

Departament d'Ecologia  
Universitat Barcelona

El Mediterrani té una mida petita: no hi ha cap punt en aquest mar que disti gaire més de 200 km de les vores terrestres que l'encerclen. Així doncs, la interacció entre el mar i el continent hi és particularment estreta i això fa que sigui un mar molt sotmès a la influència continental. La pressió antròpica és molt més gran al Mediterrani que als oceans, ja que, a més, el continent que el rodeja està molt poblat. Ara bé, malgrat la seva mida petita, el mar Mediterrani ha estat considerat paradigma d'un oceà en miniatura, on els processos oceanogràfics es poden estudiar en distàncies més petites que en els oceans pròpiament dits. També és un lloc on els impactes i les activitats humanes estan amplificats a causa de les seves reduïdes dimensions. És, en definitiva, com un laboratori on es poden posar a prova hipòtesis relatives al medi marí d'una manera més convenient que en els grans oceans.

Del Mediterrani es poden dir moltes coses, però ens centrarem en dos aspectes concrets que ens permetran apropar-nos una mica a les característiques ecològiques d'aquest mar i a alguns dels problemes que pateix.

## Qualitat de les aigües costaneres

Parlaré primer del funcionament natural ecològic de les zones costaneres per entendre millor la dinàmica que es dona quan aquest funcionament es veu alterat.

La formació de la matèria orgànica es produeix per la fotosíntesi a partir de  $\text{CO}_2$ , aigua, sals minerals i llum, un procés que allibera oxigen a l'entorn. En el medi marí, aquesta fotosíntesi la fa principalment el fitoplàncton, però també les plantes macròfites i les algues pluricel·lulars. Els animals usen l'oxigen per cremar la matèria orgànica i, com a resultat del procés, retornen al medi aigua,  $\text{CO}_2$  i sals minerals.

Aquests mecanismes funcionen de manera acoblada formant un cicle on el que surt d'un procés constitueix l'entrada de l'altre, malgrat que també s'ha de tenir en compte que el cicle no és perfecte.

El sistema marí té unes propietats físiques que constreixen les pautes de funcionament dels processos ecològics. La primera d'aquestes propietats és que l'aigua absorbeix la llum de manera important i, a més a més, selectiva segons les longituds d'ona. Com que la fotosíntesi necessita la llum i l'aigua n'absorbeix produint una disminució de llum en fondària, per sota de certa fondària (uns 100 m) ja no hi ha prou llum per tal que la fotosíntesi sigui efectiva. Per sobre d'aquest nivell queda la capa fòtica, la capa il·luminada on el fitoplàncton marí pot fer la fotosíntesi. El Mediterrani té una fondària mitjana d'uns 1.500 m. Per tant, aproximadament només les aigües situades en una capa que ocupa el 7 % superficial són fotosintètiques i productives.

En un oceà privat de vida, l'oxigen i els nutrients estarien, idealment, homogèniament distribuïts en tot el perfil vertical. Però en l'oceà real, el fitoplàncton assimila els nutrients a les capes superficials i això inicia uns processos de segregació. Els nutrients circulen per la xarxa tròfica i passen al zooplàncton i als peixos que es mengen el zooplàncton. En aquest procés també es van retornant nutrients en forma mineral al medi, la qual cosa tanca el cicle. Com hem vist a l'inici, amb la fotosíntesi s'allibera oxigen, que utilitzaran els animals per respirar. La matèria en suspensió al mar (restes d'organismes, restes fecals...) sedimenta per gravetat i, quan surt de la zona fòtica, continua sent consumida per animals o descomponedors, de manera que s'alliberen sals minerals i nutrients en fondària, on no hi ha fitoplàncton i, per tant, hi ha poc oxigen. L'activitat de l'ecosistema tendeix a formar dues capes segregades: una capa superficial amb pocs nutrients, llum i oxigen abundant i, per sota, una capa fosca amb nutrients abundants però poc oxigen, que es consumeix en la respiració però que no es reposa per manca de fotosintetitzadors. El funcionament de l'ecosistema marí està a cavall d'aquesta dicotomia: les plantes necessiten llum i sals minerals, però aquests estan en fondària, on no hi ha llum, i els organismes heteròtrofs que viuen de la matèria que va sedimentant necessiten oxigen per consumir-la, que els manca en fondària.

Com se supera això? Aquesta dicotomia només es pot superar pel moviment vertical de les masses d'aigua: aquest és un principi general per a tots els ecosistemes aquàtics. Els moviments verticals provoquen una barreja en la qual s'intercanvien els nutrients i l'oxigen. El funcionament ecològic del mar Mediterrani sols és possible si hi ha zones on hi ha intercanvi vertical. Barrejar dos mil metres de columna d'aigua és molt difícil, i més quan a la columna d'aigua s'estableixen gradients de

densitat. Les aigües superficials, calentes, són menys denses que les profundes, més fredes, cosa que dificulta la barreja vertical. Així doncs, tot ecosistema marí està limitat per tres aspectes importants: 1) la llum, que només arriba a les capes superficials, 2) l'oxigen, que es queda a les capes superficials, i els nutrients, que es queden a les capes profundes, i que cal que es barregin per tal que l'ecosistema funcioni, i 3) la barreja vertical de les aigües marines trencant els gradients de densitat.

Què passa en l'ecosistema marí mediterrani? Veurem de quina manera es produeixen aquestes barreges al Mediterrani i com això condiciona el funcionament del sistema ecològic.

Una primera característica condicionant al Mediterrani és el seu balanç evaporatiu, que és negatiu: s'evapora més aigua de la que entra per precipitació i pel drenatge dels rius de les conques afluent. Per compensar el dèficit, hi entra aigua de l'Atlàntic a través de l'estret de Gibraltar. Aquest fet marca tot el funcionament físic i, per tant, biològic del Mediterrani. L'aigua atlàntica entra per Gibraltar i flueix fregant el nord d'Àfrica. Aquest sistema de circulació és complex i ha estat molt estudiat per oceanògrafs d'arreu del món. Aquest corrent d'aigua originàriament atlàntica arriba a l'extrem de la conca oriental (figura 1). Al llarg d'aquest viatge, l'aigua experimenta modificacions importants: a mesura que avança pel Mediterrani, es va fent més salada per l'evaporació superficial i, per tant, més densa. Quan entra de l'Atlàntic, té una salinitat del 35 per mil, i quan arriba a l'extrem oriental, ha pujat fins al 39 per mil. El resultat és que l'aigua salada i densa de l'extrem oriental s'enfonsa i forma l'anomenada aigua intermèdia del Mediterrani. És una aigua salada i calenta, però que no arriba fins al fons, ja que aquest està ocupat per aigua encara més densa. A partir del seu enfonsament en el Mediterrani oriental, aquesta aigua intermèdia es va estenent i ocupa les dues conques del Mediterrani (oriental i occidental), a fondàries intermèdies (100-500 m). Aquesta aigua sol anomenar-se també aigua llewantina. En formar-se l'aigua llewantina, es produeix l'oxigenació de les aigües intermèdies.

A més, hi ha dos punts determinats del Mediterrani, al golf de Lleó i cap a la sortida del mar Adriàtic, on es forma aigua profunda. Al golf de Lleó, a l'hivern, hi bufa la tramuntana. Com que és un vent sec, provoca l'evaporació de l'aigua superficial, i com que és molt fred, a més la refreda. L'evaporació i el refredament actuen conjuntament per produir una aigua més freda i salada, molt densa, que s'enfonsa. En arribar a 100-500 m de fondària, es barreja amb l'aigua llewantina, també salada i densa, i es forma una aigua encara més densa. És l'aigua que arriba al fons del Mediterrani occidental i que en cobreix tot el fons, des de 500

fins a 1.500 m. Una cosa semblant, encara que una mica diferent, succeeix amb l'aigua que surt de l'Adriàtic, fet que dona lloc a l'aigua fonda de la conca oriental.

Això és important perquè l'aigua que s'enfonsa oxigena els fons més profunds del Mediterrani. Per tal que es mantingui l'equilibri, hi ha d'haver un volum equivalent d'aigua que reemplaci la que s'enfonsa, i això s'aconsegueix amb l'aflorament d'aigua profunda que aporta nutrients a les capes superficials. Aquesta aportació de nutrients fa que el golf de Lleó sigui l'àrea més productiva de tot el Mediterrani.

El Mediterrani funciona amb tres «respiradors» que aporten aigües oxigenades: l'esmentat d'aigües intermèdies al Mediterrani oriental, i dos més d'aigües profundes al mar Jònic i al golf de Lleó. No obstant això, només al golf de Lleó hi ha un ascens important de les aigües profundes que alimenta en nutrients el fitoplàncton de les capes superficials. La resta del Mediterrani està estratificat, cosa que impedeix la barreja vertical i limita la productivitat. El Mediterrani és un mar molt poc productiu, però, a més, part de l'aigua llevantina que s'estén per tot el mar marxa per l'estret de Gibraltar. En aquest canvi, el Mediterrani perd sals minerals. Les aigües profundes i intermèdies tenen més nutrients que les superficials, on el plàncton els ha esgotat. A Gibraltar tenim una entrada d'aigües superficials pobres en nutrients i una sortida d'aigües fons- des riques en nutrients, fet que dona un balanç de nutrients negatiu per al Mediterrani.

Així doncs, podem considerar el Mediterrani un mar oligotròfic, amb una producció comparable a la de les zones subdesèrtiques. Únicament a la zona del golf de Lleó i a la desembocadura dels grans rius (Nil, Po, Roine i Ebre), hi ha una producció important.

Fins aquí hem descrit el sistema del Mediterrani sense alteracions. Però també hem dit que el Mediterrani rep un fort impacte de la població que l'envolta. Què passa quan l'home incideix en aquest sistema oligotròfic?

Els vessaments agrícoles i domèstics són rics en nutrients minerals (sobretot en nitrogen i fòsfor). Com a conseqüència d'aquests abocaments, es produeix una major producció planctònica, és a dir, s'eutrofita el mar. En haver-hi més biomassa d'algues unicel·lulars, disminueix la transparència de l'aigua, n'augmenta la terbolesa i les aigües esdevenen verdes. La subsegüent disminució de llum en fondària afecta negativament les comunitats bentòniques de la zona costanera. Una segona conseqüència de l'eutròfia és que la matèria orgànica tendeix a sedimentar, de manera que en fondària augmenta la demanda de l'oxigen que ha de consumir aquesta matèria orgànica. Això fa que la concen-

tració d'aquest gas disminueixi, amb risc per als organismes que respiren. En casos extrems, l'oxigen pot arribar a esgotar-se, fet que produeix anòxia i la desaparició dels organismes heteròtrofs pluricel·lulars.

Processos d'eutrofització similars s'han descrit en algunes praderies de *Posidonia* de la costa catalana que reben nutrients per part de granges marines. L'aigua es torna tèrbola, augmenten les algues i la fauna epífita que recobreixen les parts fotosintètiques de la planta, fet que causa una mortalitat important. Ara bé, les coses són més complicades. Per exemple, aquestes praderies tenen una certa capacitat d'eliminar nitrogen, ja que al sediment on arrelen hi viuen bactèries desnitrificadores. Aquestes comunitats microbianes actuen com a petites depuradores biològiques que transformen sals de nitrogen en nitrogen gasós que marxa cap a l'atmosfera. No se sap del cert, però s'estima que per aquesta via es podria eliminar entre el 5 i el 50 % dels abocaments de nitrogen al Mediterrani. Així doncs, l'aportació del nitrogen degrada les praderies, això fa minvar la capacitat natural de depuració i s'entra, d'aquesta forma, en una espècie de cercle viciós: hi ha unes aportacions de nitrogen, hi ha uns organismes que l'eliminen, però aquest mateix nitrogen malmet aquest filtre, eventualment fins i tot desapareix; per tant, ja no s'elimina part del nitrogen i aleshores aquest s'acumula.

Resumint, l'eutrofització provoca una pertorbació de l'ecosistema: el modifica i causa la pèrdua d'alguns dels seus components. En general, provoca una pèrdua de biodiversitat. Des del punt de vista antròpic, també té efectes importants en l'àmbit econòmic, per exemple per la disminució del turisme, que prefereix aigües més netes i transparents, i sanitari, per les proliferacions d'algues tòxiques que tot sovint es produeixen amb l'eutròfia de les aigües.

Avui dia, al Mediterrani, l'eutrofització no és un problema de gran extensió, segons els resultats d'un panell internacional que ha estudiat a fons la qüestió. Hi ha zones sensibles, com per exemple, al mar Adriàtic (per les aportacions del riu Po i per la baixa renovació de l'aigua), o a la desembocadura d'alguns grans rius que baixen amb una gran càrrega de nutrients. Malgrat això, l'eutrofització costanera és una amenaça cada cop més present, especialment a les zones costaneres on el desenvolupament turístic és més intens.

## Invasions biològiques

Si l'eutrofització cau dins de la categoria de contaminació química, alguns autors parlen de les espècies invasores com a contaminació biològica. Considerem que es produeix contaminació quan s'introdueix en el sis-

tema alguna cosa que no hauria de ser-hi; normalment, el que s'hi introdueix prové d'alguna activitat humana. El cas de les espècies invasores és clar: es tracta d'espècies contaminants perquè per la seva biogeografia no haurien de ser allí, i si hi són és perquè alguna intervenció humana les ha introduït en un hàbitat diferent del seu original, o ha permès que hi fossin. Entre aquestes espècies n'hi ha una que ha tingut molt ressò mediàtic: la *Caulerpa taxifolia*, mal anomenada «alga assassina».

La *Caulerpa taxifolia* és una alga clorofícia una mica especial, ja que conté toxines com a mecanisme defensiu davant dels herbívors. Originàriament, la seva distribució era indopacífica, i en el seu medi natural tropical tenia una presència més aviat marginal, sense destacar gaire. De cop i volta, va aparèixer a Mònaco (primera citació, l'any 1984), a prop del desguàs de l'Aquari, i a partir d'aquí es va anar estenent pel Mediterrani (primeres alertes, l'any 1989), fet que va causar problemes i preocupació. Actualment, es troba en grans extensions a la costa sud de França i al nord d'Itàlia; també en petits enclavaments a Mallorca, Sicília, l'Adriàtic i Tunísia. També se l'ha trobat recentment a Austràlia i a San Diego (Califòrnia).

La dispersió es produeix mitjançant petits fragments enganxats en xarxes de pesca o en àncores de vaixells. Per què es va fer tan famosa? Per la seva gran capacitat de creixement i per la seva àmplia valència ecològica, ja que colonitza el fons marí des d'1 m fins a 60 m de fondària, i tant ocupa fons de roca com sorrencs. S'estableix i es reproduïx ràpidament per la seva gran capacitat de rebrotada. Per aquesta capacitat recobridora del substrat i per l'emissió de substàncies tòxiques, a les zones colonitzades per *Caulerpa taxifolia* hi disminueix molt la biodiversitat. També cal considerar la pèrdua de valor del paisatge submarí. El paisatge marí Mediterrani és molt ric, amb comunitats diferents, com el coral-ligen, les gorgònies, els fons d'algues fotòfiles o d'algues esciòfiles, les esponges o els fons arenosos. Però, en les zones afectades per *Caulerpa*, el paisatge es transforma en una massa monòtona de verd que ho ocupa tot. Aquesta substitució implica que hi hagi menys recursos tròfics per a altres espècies, amb la qual cosa les comunitats simplifiquen la seva estructura i perden riquesa.

Així doncs, les conseqüències principals de la invasió de *Caulerpa* són l'homogeneïtzació i la banalització del paisatge submarí, així com també la reducció dels efectius de moltes espècies, com alguns peixos. El cas de *Caulerpa* és extrem per la gran agressivitat i virulència del seu procés d'invasió. Hi ha altres espècies invasores que no han produït uns efectes tan devastadors, però que van provocant canvis subtils als ecosistemes.



Moltes de les espècies invasores arriben per l'aquariofília, els cultius de bivalves o altres pràctiques d'aqüicultura, i per esquers de pesca. Arriben també adherides als bucs de les embarcacions o en les aigües de llast dels vaixells. Cal recordar també que l'obertura del canal de Suez va facilitar l'entrada d'espècies del mar Roig cap al Mediterrani. El nombre d'espècies que arriben és molt alt i difícil de calcular, però es calcula que només sobreviu entre l'1 i el 5 % de les espècies arribades. Es calcula que, de les espècies que sobreviuen, només se n'estén l'1 %. Per tant, només una petita proporció esdevé invasora. Això, d'una banda, tranquil·litza una mica, ja que, com es veu, costa molt que hi hagi una introducció amb èxit. Però cal tenir present que estem sotmesos a un bombardeig constant d'espores, larves, fragments i individus exòtics. En els darrers vint-i-cinc anys (període 1976-2000) s'han introduït 79 espècies de mol·luscs i 27 d'algues al Mediterrani. Les probabilitats que s'hi introdueixi una espècie més nociva són petites però significatives: la *Caulerpa taxifolia* n'és un exemple.

La llista dels efectes humans sobre els ecosistemes mediterranis és molt més llarga que no pas aquests dos exemples. Podríem parlar de sobrepesca, de contaminació per hidrocarburs, de metalls, de desequilibris sedimentaris, etc. Les pressions són molt fortes i hem de tenir cura d'aquest nostre petit oceà força amenaçat.

## El futur del ferrocarril en el transport a Catalunya

Jordi Julià

Ifercat

El ferrocarril és un mitjà de transport que ajuda a aconseguir objectius de sostenibilitat, ja que, en general, és menys agressiu envers el medi ambient que el transport per carretera. Necessita electricitat per funcionar —per tant, s'ha de tenir en compte la contaminació derivada de la seva generació— i utilitza unes infraestructures que tenen un cert impacte; però, tot i així, el cost ambiental global, quan es tracta de transportar un gran nombre de persones o moltes tones de mercaderies, és menor que quan s'usa el transport per carretera. Per tant, reconeixem que el ferrocarril és una tecnologia dura, però que, d'altra banda, té unes virtuts incontestables i presta grans serveis. En el segle XIX, el ferrocarril va ser motor de desenvolupament del món industrial i també ha passat brillantment pel segle XX. Nosaltres som del parer que en el segle XXI continuarà prestant serveis. A continuació, explicaré el pla d'infraestructures i transports que ha fet la Generalitat de Catalunya, tasca en què he col·laborat en els darrers anys.

### El marc competencial

En primer lloc, cal dir que el marc competencial del ferrocarril és complex (taula 1). S'ha de tenir en compte que els ferrocarrils comprenen el metro, el tramvia i els trens.

El Pla Director d'Infraestructures (PDI), redactat per l'Autoritat Metropolitana del Transport (ATM), consorci entre la Generalitat, l'Entitat Metropolitana i els Ajuntaments, és qui decideix sobre el metro i el tramvia. En el cas de la rodalia de Barcelona (comprentent les línies de Renfe i dels Ferrocarrils de la Generalitat), les competències són compartides entre la Generalitat i el Ministeri de Foment de l'Estat espanyol. En els ferrocarrils regionals, en els de mercaderies i en l'alta velocitat, qui intervé més és el Ministeri de Foment.

**Taula 1**

<i>Serveis ferroviaris</i>	<i>PDI ATM</i>	<i>Pla de rodalia MFOM</i>	<i>PEIT + Pla sectorial MFOM</i>	<i>PITC</i>
Metro i tramvia	XX			
Rodalia de Barcelona	XX	XX		X
Rodalia altres àmbits				XX
Regionals Catalunya (inclou TAV)			X	XX
Llarg recorregut			XX	X
Mercaderies			XX	XX

XX: àmbit d'actuació principal

X: altres àmbits d'actuació

Llegenda:

PDI ATM: Pla Director d'Infraestructures de l'Autoritat Metropolitana del Transport

MFOM: Ministeri de Foment de l'Estat espanyol

PEIT: Pla Estratègic d'Infraestructures de Transport del Ministeri de Foment de l'Estat espanyol

PITC de la Generalitat: Pla d'Infraestructures de Transport de Catalunya

De tota manera, independentment de l'aspecte competencial, el PITC redactat pel Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya hauria de ser l'eina que permeti el desenvolupament coherent i ordenat del conjunt del sistema ferroviari català en totes les seves vessants: transport de viatgers (serveis de rodalia, regionals i llarg recorregut) i transport de mercaderies.

### Àmbit local

Què es fa a Barcelona en temes ferroviaris? Des de fa uns anys, a Barcelona s'està ampliant el metro de forma molt considerable. Les actuacions aprovades del PDI per a la dècada 2001-2010 es concentren bàsicament al Barcelonès i al delta del Llobregat. El pressupost d'inversió estimat és de 7.300 milions d'euros per al conjunt del període, dels quals 2.300 milions corresponen a la línia 9 del metro. En aquests moments (març de 2006) tenim obres pressupostades i adjudicades en 50 km de metro i s'està duent a terme la construcció de diverses estacions dins la ciutat.

Hi ha altres obres programades: el PDI 2001-2010 preveu també l'estudi d'altres inversions que afecten la Regió Metropolitana de Barcelona, com per exemple la construcció d'una línia ferroviària que uneixi les viles de la corona de Barcelona, com ara Vilanova i la Geltrú, Vilafranca del Penedès, Martorell, Terrassa, Sabadell, Granollers i Mataró,

fet que conformaria una línia orbital de la regió metropolitana. Aquesta línia hauria de pertànyer a la xarxa de Renfe. D'altra banda, també es considera la necessitat de soterrar la línia del Maresme. Pel que fa a la Generalitat, es considera la necessitat de perllongar les línies de FGC a Terrassa i Sabadell.

En el marc ferroviari de l'Estat espanyol, les determinacions del Pla Estratègic d'Infraestructures del Transport del Ministeri de Foment que afecten Catalunya són les següents: 1) implantació progressiva de l'ample internacional a tota la xarxa començant pel quadrant nord-est; 2) execució d'un nou corredor ferroviari transpirinenc especialitzat en el transport de mercaderies; 3) desenvolupament de nous eixos transversals que trenquin l'estructura radial de la xarxa, i 4) s'admet l'Eix Transversal Ferroviari (ETF) com a actuació «en estudi». L'ETF és un nou traçat entre Lleida, Igualada, Manresa, Vic i Girona. Pel que fa a la xarxa ferroviària europea, a llarg termini s'ha pensat en una nova penetració d'Espanya cap a Europa a través dels Pirineus. Actualment funcionen els passos per Irun i per Portbou. En el futur, haurien de passar nous túnels (de 50 km) sota els Pirineus, en un model que imiti en part el que es fa a Suïssa.

En els pròxims anys, es preveu un augment del nombre d'habitants de Catalunya. Avui, ja en som set milions, i se'n preveuen vuit milions cap a l'any 2026. Els problemes deguts a la congestió tendiran a agreujar-se al llarg dels pròxims anys perquè la mobilitat continuarà creixent. Cada vegada ens movem a més distància i ens desplaçem entre diferents municipis, fet que causa que la mobilitat que omple les carreteres i les línies de ferrocarril sigui la interurbana. Així, mentre que l'any 1981 de cada 100 persones ocupades, 28 treballaven fora del seu municipi, l'any 2001 ja en són 47. S'ha fet la hipòtesi que, tot i que aquest increment ha de tendir a amortir-se, pot estabilitzar-se sobre el 60 % globalment a Catalunya l'any 2026. Això significa una taxa d'increment acumulat en la mobilitat per al període 2001-2026 de 30,5 %. Cal una dotació de transport públic per servir aquestes necessitats.

Quina part d'aquests viatgers utilitzaran el transport públic? La tendència històrica dels darrers vint anys és una participació creixent del vehicle privat en el repartiment modal. Mentre que l'any 1981 el vehicle privat representava poc més d'un 40 % del total de la mobilitat interurbana per treball, l'any 2001 es troba prop d'un 70 %. Des de la Generalitat de Catalunya es fa una proposta voluntarista d'invertir radicalment aquesta tendència fent que el transport col·lectiu recuperi quota al llarg dels pròxims vint anys.

## Transport de mercaderies

El total de mercaderies que es mouen a la Unió Europea ha anat augmentant en els darrers anys. Als quinze països de la Unió Europea, el trànsit de mercaderies ha crescut un 3,4 % anual entre 1985 i 1997. En aquesta tendència, hi ha hagut un repartiment desigual: mentre que el trànsit de mercaderies per carretera ha crescut a un ritme superior (4,9 %), el trànsit de mercaderies per ferrocarril ha disminuït a un ritme d'un 1,3 % anual. El llibre blanc dels transports de la Comissió Europea, en la seva hipòtesi alta, proposa créixer els pròxims anys a un ritme similar al dels darrers dotze anys (3,4 %), però forçant també rotundament el repartiment modal a favor del ferrocarril. Així, la carretera suavitzaria el seu creixement (el 2,7 % en lloc del 4,9 % dels darrers anys), mentre que el ferrocarril passaria de perdre un 1,3 % anual a guanyar un 6 % anual. Són hipòtesis molt contundents, que requereixen una millora notable de la gestió del transport ferroviari de mercaderies i també noves inversions, en un intent de preveure un desenvolupament més equilibrat entre la construcció de carreteres i de ferrocarrils.

Aquests increments de trànsits de mercaderies es traduirien, a la frontera dels Pirineus, en les xifres següents (en tones):

	2002	2026	Inc. anual
<i>Total tones que travessen els Pirineus</i>	99.268.292	269.036.012	4,07 %
<i>Total tones que travessen els Pirineus per carretera</i>	95.039.737	220.712.173	3,43 %
<i>Total tones que travessen els Pirineus en ferrocarril</i>	4.228.556	48.323.839	10,23 %
<i>Repartiment modal (% ferrocarril sobre terrestre)</i>	4,3	18,0%	—
<i>Total camions que travessen els Pirineus</i>	18.000	41.802	3,43 %
<i>Total trens que travessen els Pirineus</i>	43	311	8,24%

Els fluxos es reparteixen equilibradament entre els dos passos transpirinencs actuals (Atlàntic i Mediterrani).

En altres països d'Europa, als passos dels Alps hi ha més equilibri entre les rutes per carretera i les de ferrocarril. Això s'ha fet a còpia d'imposar un impost de circulació per als camions (peatge) quan passen per Suïssa i d'oferir un servei de tren molt bo. A la frontera espanyola amb

França, hi domina el transport per carretera i pensem que s'ha de fer un esforç per equilibrar-ho.

La demanda de transport de mercaderies que es mouen entre diferents regions, per exemple entre Catalunya i el Rosselló, ha d'estar coberta pel nou Pla Ferroviari de Catalunya, coordinadament amb el Pla Estratègic d'Infraestructures de Transport de Catalunya del Ministeri de Foment i en el marc de les Xarxes Transeuropees de la Comunitat Europea. En un esquema com el previst pel Pla Estratègic d'Infraestructures de Transport de Catalunya, el trànsit transfronterer tendiria a distribuir-se equilibradament pels dos passos actuals (Irun, amb 22,7 Mt l'any 2026 respecte a 1,8 MTn el 2002, i Portbou, amb 23,7 Mt l'any 2026 respecte a 2,4 Mt el 2002). El túnel de Vignemale captaria espontàniament poc trànsit (1,9 Mt al 2026).

A tall de comparació, podem observar què passa en altres països, com per exemple al Japó, un dels primers països ferroviaris del món, juntament amb els EUA i Suïssa. El Japó té ara 127 milions d'habitants i una densitat molt alta (334 hab/km<sup>2</sup>). En aquest país, el ferrocarril representa el 30 % de quota en transport de viatgers, però només un 4 % de quota en transport de mercaderies. Les reduïdes dimensions del Japó combinades amb la seva altíssima densitat de població han focalitzat el mercat ferroviari quasi exclusivament cap als viatgers, un mercat ferroviari que està format per 95 companyies privades, sis de les quals han sorgit de la privatització de la companyia estatal JNR ara fa pocs anys (aquestes sis són: Kyushu JR, Shikoku JR, West JR, Central JR, East JR i Hokkaido JR). A més, hi ha 37 companyies semiprivades i 13 línies públiques de transport regional. Metros, rodalia, alta velocitat, totes dedicades als viatgers.

Un cas oposat és el dels Estats Units d'Amèrica, que, malgrat tenir 300 milions d'habitants, tenen una densitat molt baixa (31 hab/km<sup>2</sup>). A Nord-amèrica quasi s'ha abandonat el transport de viatgers, que només representa un 0,6 % de quota en el transport de viatgers, però, en canvi, un alt percentatge de les mercaderies (40 %) viatgen en tren. Els Estats Units tenen una densitat de població deu vegades inferior a la del Japó i una extensió vint-i-cinc vegades superior. Com veiem, el seu mercat ferroviari s'ha decantat clarament cap al transport de les mercaderies, que cobreix grans distàncies. Aquest mercat ferroviari dels Estats Units funciona de manera totalment privada. Les sis principals companyies que operen als Estats Units i el Canadà són: Norfolk Southern, CXS, BNSF, UP (Union Pacific), CP (Canadian Pacific) i CN (Canadian National). Es tracta de xarxes complementàries, que a vegades competeixen però que altres vegades es complementen per cobrir tot el conti-

nent americà. A causa de la geografia del país, molt plana en gran part del territori, es van poder construir línies molt rectes per les quals poden circular trens de doble alçada amb contenidors, amb la qual cosa es guanya eficiència en el transport.

Això ens fa veure que al món han triomfat les xarxes que s'han especialitzat, bé en viatgers, bé en mercaderies. És difícil fer passar diferents tipus de trens per una mateixa via, ja que els trens no es poden avançar els uns als altres. Els trens de mercaderies tendeixen a anar molt plens, transporten molta càrrega, cosa que els condiciona a moure's a baixes velocitats. En canvi, per als passatgers es prioritza l'alta velocitat. Això imposa limitacions a l'ús de la xarxa pel fet que no poden coexistir trens ràpids i trens lents en una mateixa via.

L'Europa dels quinze té una densitat de població tres vegades inferior a la del Japó i tres vegades superior a la dels Estats Units. La seva extensió també està entremig d'aquests dos països. Les seves quotes de transport per al ferrocarril, tant per a viatgers com per a mercaderies, són baixes. A Europa volem una cosa difícil: que el ferrocarril transporti mercaderies i viatgers alhora, però utilitzant una única xarxa. Tal com hem comentat anteriorment, calen diferents xarxes per satisfer les diferents necessitats de cada tipus de servei (per exemple, els de rodalia, els de transport de mercaderies i els d'alta velocitat). S'han de construir noves xarxes per a cada tipus de servei.

Suïssa probablement és el país més ferroviari del món. Els suïssos han aconseguit el que en altres llocs s'ha vist incompatible: disposar d'un bon transport de mercaderies i de viatgers. Com que el país és molt muntanyós, s'han hagut de construir molts túnels. I uns túnels molt llargs, dissenyats amb poc pendent per fer-los adequats als trens de mercaderies, que requereixen vies molt estables, de poc pendent i amb poques corbes per poder arrossegar molta càrrega.

A Europa, malgrat el que hem comentat a l'inici sobre la pèrdua de quota de mercat del ferrocarril respecte de la carretera, hem de tenir en compte els problemes de capacitat previstos per a algunes de les línies ferroviàries. Alguns trams saturats es produeixen precisament per la confluència de viatgers i mercaderies en la mateixa línia. Per exemple, aquest és el cas de l'Europa Central (Alemanya, nord de França) i del corredor Mediterrani (sud de França, Catalunya). El nostre pla s'ha de fer en aquest context de línies saturades i aconseguir que, així i tot, el ferrocarril pugui créixer.

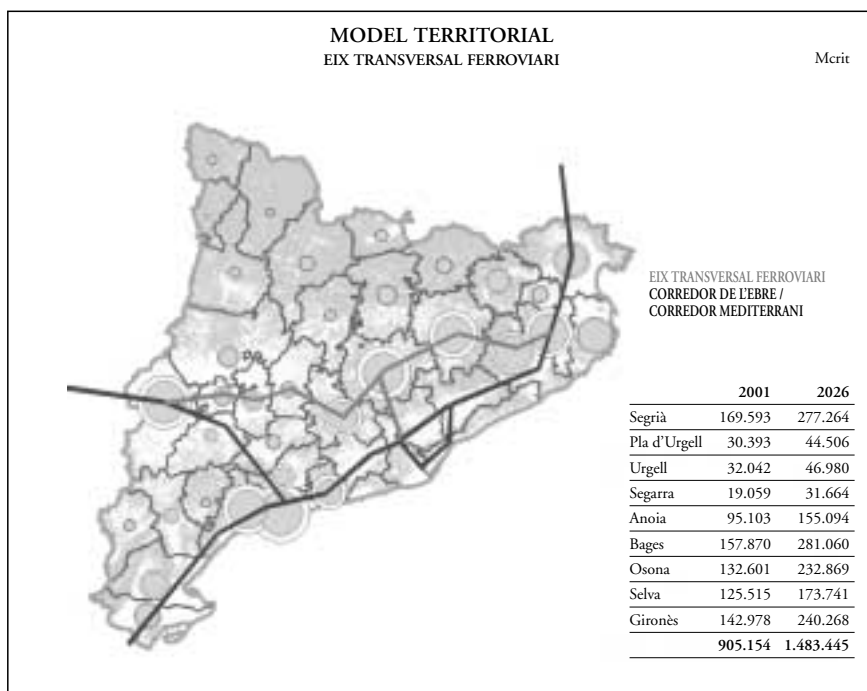
El nostre model territorial és l'euroregió mediterrània del sud-est de França i el nord-est de la Península, una regió que té disset milions d'habitants i set milions de llocs de treball, i que conté grans nuclis urbans,

com Montpeller, Tolosa de Llenguadoc, Saragossa, Barcelona i València. L'aeroport i el port de Barcelona també han de servir tota aquesta regió. La xarxa ferroviària i la de carreteres han de connectar totes aquestes infraestructures amb una connexió a Europa amb un ferrocarril d'ample internacional.

Pensar en el transport i les infraestructures d'una regió ens obliga a pensar quin tipus de país volem. Si hem de ser vuit milions d'habitants en els pròxims anys, hem de preveure com es distribuiran pel país. Preveiem un creixement de la zona metropolitana i d'altres ciutats a més distància en un creixement equilibrat de les diferents regions (no només a l'entorn de Barcelona). La idea és que la població s'estengui per tot Catalunya. I aquest creixement de la Catalunya interior (tant en població com en indústria) ha de ser servit per una bona xarxa d'infraestructures. Hem de crear línies de ferrocarril cap a aquestes zones interiors, inexistents a dia d'avui. La implantació de l'Eix Transversal Ferroviari impulsaria aquest nou model territorial de Catalunya proposat en el nou Pla Territorial. Segons les previsions de la Secretaria de Planificació Territorial, uns tres milions d'habitants viuran fora de la Regió Metropolitana de Barcelona l'any 2026 i, així, aquesta perdrà pes demogràfic en relació amb la resta de Catalunya (passarà de contenir el 69 % de la població l'any 2001 al 61 % l'any 2026). A les comarques situades al llarg del corredor transversal de Catalunya, s'hi concentraran 1,5 milions d'habitants. Exceptuant el Segrià i el Gironès, que estan servits també pel corredor de l'Ebre i del Mediterrani respectivament, les set comarques que seran servides exclusivament per l'Eix Transversal Ferroviari sumaran un milió d'habitants (600.000 l'any 2001).

L'Eix Transversal Ferroviari s'inscriu en el marc de l'euroregió com un complement de la xarxa ferroviària proposada pel Pla Estratègic d'Infraestructures de Transport del Ministeri de Foment i de la xarxa ferroviària transeuropea. Amb aquestes infraestructures transversals estendrem la connectivitat de les comarques interiors de Catalunya, tant per carretera (l'actual eix transversal) com per ferrocarril. Aquestes infraestructures també s'han d'usar per al transport de mercaderies, en un model mixt de mercaderies i viatgers similar a l'esmentat anteriorment de Suïssa. D'aquesta manera, es trencaria el model actual en què les mercaderies forçosament han de passar per Barcelona. Amb una gestió combinada de passatgers i mercaderies, s'amortitza millor una gran infraestructura, nova de soca-rel, i que permet la combinació de modalitats ràpides i lentes pel fet que no va gaire congestionada. En aquesta visió, les circulacions de mercaderies desapareixen de la línia de la costa,





de manera que cal reforçar tant el corredor prelitoral com l'eix transversal per l'interior. La xarxa de mercaderies serà d'ample internacional, tant si són les línies actuals remodelades com si són línies noves.

El nou model d'infraestructures ferroviàries projectat per als pròxims anys per part de la Generalitat de Catalunya es configura a partir de tres línies no radials: 1) la línia 9 de metro de circumval·lació de Barcelona per la part alta; 2) la línia orbital, un ferrocarril de rodalia que unirà Mataró, Granollers, Terrassa, Vilafranca del Penedès i Vilanova i la Geltrú, i 3) l'eix transversal, que ha de connectar Girona i Lleida. Amb aquesta planificació, molt ambiciosa, es busca un disseny de malla no radial amb un nucli a Barcelona. Els serveis actuals de llarg recorregut (grans línies) esdevindran serveis d'alta velocitat circulant per les noves línies d'ample internacional. Apareixeran uns serveis regionals circulant també a alta velocitat per les noves línies. Pensem també a proporcionar serveis ferroviaris cap a Europa, per exemple, a Venècia, París, Roma, amb l'alta velocitat, de manera que s'arribi a aquestes ciutats en un termini d'unes sis hores, i els serveis regionals (Montpeller, Tolosa de Llenguadoc, València) encara seran més ràpids. Les ciutats més llunyanes requeriran sempre el transport en avió. Però aquestes infraestructu-

res crearan una regió en una altra escala, una euroregió. Aquesta euroregió, territori on estem situats al bell mig, seria el nostre àmbit natural de relació.

### **Un exemple: estudi sectorial del tren al Maresme**

A Mataró, la posició relativament excèntrica de l'estació respecte de la població fa que tot just 16.000 habitants tinguin garantida la seva accessibilitat a peu a l'estació. Bona part de la ciutat queda lluny de l'estació, situada vora el mar. En el futur, s'hauria de servir millor la població situant estacions al centre de la ciutat. Això implica fer la línia de tren per l'interior. Si volem que la gent agafi el tren, l'hi hem d'acostar, i l'accés al tren ha de ser molt pràctic; altrament, s'agafa el cotxe. Al Maresme, actualment la línia de tren i la carretera nacional (N-II) van arran de les platges, de manera que carretera i via de tren constitueixen una barrera entre les poblacions i la costa. La carretera hauria de desaparèixer d'aquí i hauria d'anar per l'interior, a prop d'on passa actualment l'autopista. En el cas del ferrocarril, seria important, tant per l'impacte de la via vora la platja, com per poder situar les estacions de manera més cèntrica a les poblacions i així servir millor la gent, fer passar el tren per l'interior i amb via doble. Com que l'espai està densament construït, serà necessari construir túnels per sota de les poblacions. Amb aquest projecte es podria imaginar una gran façana litoral amb un passeig marítim ample, sense els destorbs de la via i la carretera. Es tracta d'una obra molt ambiciosa pensada per a llarg termini per millorar la qualitat de vida dels ciutadans tot respectant el medi ambient amb una planificació adequada de les infraestructures.

## Conservació del territori i societat civil

Jordi Pietx

Xarxa de Custòdia del Territori

Jordi Sargatal

Fundació Territori i Paisatge

### Sobre la Fundació Territori i Paisatge

Ara fa vuit anys, Caixa Catalunya va fer una aposta molt decidida i valenta per dedicar part del pressupost de l'obra social a temes ambientals. L'obra social de les caixes disposa d'un pressupost important. Per exemple, per a aquest any 2006, el pressupost del conjunt de totes les caixes d'estalvi d'Espanya serà de 1.200 milions d'euros. L'obra social de les caixes es dedica a fer allò que fa falta a la societat, com, per exemple, promoure asils, hospitals, llocs d'acolliment, biblioteques. Últimament, també es promouen aspectes més culturals i ambientals. Caixa Catalunya va apostar per un projecte decidit: emulant el National Trust anglès, va promoure una entitat que es dedica a comprar territori per a la seva conservació.

La seu de l'obra social de Caixa Catalunya és a l'edifici modernista de la Pedrera. L'obra social comprèn quatre fundacions. Una fundació és cultural i es dedica a gestionar la Pedrera. La segona és la Fundació Territori i Paisatge, apareguda l'any 1997. Més tard, l'any 2000, es va crear la Fundació Un Sol Món, que es dedica a promoure iniciatives per al tercer i el quart món. I, finalment, Viure i Conviure es va crear l'any 2000 com a fundació, però comprèn l'obra tradicional de la Caixa, és a dir, l'assistència a les persones grans que ja es duia a terme des del principi en l'obra social.

Ens centrarem en les activitats de la Fundació Territori i Paisatge, un referent per a l'Administració i la societat civil que dona una imatge favorable i diferenciadora de Caixa Catalunya.

Tal com hem esmentat, el nostre referent va ser el National Trust anglès. Aquesta entitat va néixer fa 108 anys per aplegar els propietaris de castells amb terrenys, que, a causa de les seves dificultats per mantenir les propietats i les terres, es van associar per buscar recursos. Per treure'n un rendiment, van obrir i fer visitables les propietats. L'entitat es va anar

fent gran fins al dia d'avui, que ha assolit dos milions de socis, té dos mil empleats, gestiona 400.000 hectàrees en propietat i mou un pressupost de 250 milions d'euros, una part dels quals (el 30 %) prové de donatius o herències. Resumint, s'ha convertit en una entitat de gran suport social. Referents similars en altres països són el Natuurmonumenten neerlandès, o el moviment de conservació francès, tots ells pertanyents a una xarxa anomenada Eurosite, de la qual nosaltres també som membres. Fora d'Europa, als Estats Units aquesta funció la fa el Nature Conservancy.

L'objectiu principal que ens vam marcar a la Fundació Territori i Paisatge ja des del primer dia va ser comprar espais amb un elevat valor ecològic. El segon objectiu va ser gestionar territori directament o mitjançant convenis. Finalment, el tercer objectiu concerneix a la sensibilització i l'educació ambiental de la població.

Fins ara, la Fundació Territori i Paisatge ha comprat vint espais diferents que sumen 7.531 hectàrees. Tot i que estan a nom de la Fundació Territori i Paisatge, els estatuts diuen que, si un dia desapareix Caixa Catalunya, aquests terrenys no poden passar a mans o entitats privades, sinó que han de passar a l'Administració o a una entitat social anàloga de conservació. Ho anomenem propietat social ja que els diners provenen de l'obra social d'una caixa d'estalvis. A més de la propietat adquirida, s'han fet 42 convenis de custòdia de finques públiques, principalment amb ajuntaments, que comprenen 126.000 hectàrees. També tenim quatre acords de custòdia amb propietaris privats.

A continuació farem esment d'alguns dels vint espais que ha comprat la Fundació Territori i Paisatge:

- 1) Muntanya d'Alinyà, la finca privada més gran que hi havia a Catalunya (5.350 ha), situada a la zona de Coll de Nargó-Oliana. És un espai amb una gran variabilitat d'hàbitats i de paisatges, derivada de la variabilitat en l'altitud: mentre que a l'extrem occidental trobem una altitud de 500 m, a l'est trobem altituds de 2.400 m. Es tracta d'una zona molt despoblada, amb un cens de només 86 persones amb una mitjana d'edat de 67 anys. La feina de la Fundació Territori i Paisatge consisteix, per exemple, a ajudar a netejar camins, fer abeuradors per al bestiar, organitzar camps de treball. També estem duent a terme un projecte de protecció de races de vaques domèstiques autòctones en perill d'extinció. Així, es pot fer un passeig pel parc, per un ecomuseu a cel obert, per entendre el procés de pastoralisme i de domesticació dels animals.
- 2) Congost de Mont-rebei. Es tracta d'una finca de 500 hectàrees amb molta variabilitat biològica. Hi estem duent a terme tasques d'ar-

- ranjament de zones d'aparcament i de pícnic, miradors, així com també del camí excavat a pic a la paret del congost.
- 3) Muntanya de Puigventós, a llevant de Montserrat. És una zona de gran interès geològic i botànic situada en antigues feixes conreades, ara abandonades, i que han cremat diverses vegades. Hi estem fent un condicionament per a l'ús públic arranant zones que havien patit una degradació.
  - 4) Bosc de Vilalta. Es tracta d'una zona de penya-segats a les muntanyes de Prades. S'hi fa la restauració del paisatge i s'hi promou també la cria de l'àguila cuabarrada.
  - 5) Port d'Arnes, a les muntanyes de Tortosa i Beseit. En aquest entorn es troben llúdrigues, cabres salvatges, àguiles i voltors. La nostra tasca és l'arranjament de camins per a senderisme i la regulació de l'escalada.
  - 6) Congost de Fraguerau al Montsant. S'hi han instal·lat rètols i indicadors.
  - 7) Mig de Dos Rius. Bosc de ribera a Sant Pere Pescador, al parc dels aiguamolls. S'hi ha arreglat l'accés i la circulació dels visitants per protegir uns prats molt interessants a causa de la seva variada flora d'orquídies.
  - 8) Boscos de ribera dels rius Segre i Ter.
  - 9) El bosc de Tosca a les Preses (la Garrotxa), que comprèn uns conreus tradicionals de fajol encerclats de parets de pedra tosca.
  - 10) Coll de Can Maçana. Una part de les agulles de la muntanya de Montserrat.
  - 11) Rehabilitació de l'estany d'Ivars (un estany dessecat fa cinquanta anys) amb la reinundació de la seva cubeta, que ocupa 160 ha. S'han comprat els terrenys que cobria l'antic estany i s'està refent la zona inundada. La gent dels pobles veïns n'estan molt contents, ja que recuperen el seu patrimoni natural. Pot ser interessant estudiar la successió secundària que s'hi desenvoluparà.
  - 12) Llacuna de l'Aufacada al delta de l'Ebre, de 175 ha. L'expansió del conreu de l'arròs al delta de l'Ebre fa perillar algunes zones de gran valor faunístic. La llacuna de l'Aufacada va estar a punt de convertir-se en arrossars. Ara intentem comprar més arrossars adjacents per aconseguir acostar-nos a la superfície original de 500 hectàrees cartografiada als anys setanta.

A més de les finques de propietat, hem establert convenis de custòdia de propietats municipals. Ara en tenim 42 que comprenen el 2,7 % del territori de Catalunya. Si a aquesta quantitat hi sumem el 0,3 % de

territori que tenim en propietat, veiem que, en total, contribuïm a la gestió d'un 3 % del territori català.

Dins dels acords de custòdia, una de les nostres responsabilitats és gestionar drets de tala. A molts boscos de l'Alt Pirineu català la propietat és pública. Quan es talla el bosc, el 75 % del benefici ha de passar als municipis de la zona; però, en canvi, qui ha de fer-se càrrec de les despeses de la tala és l'administració de la Generalitat. Pot passar que la Generalitat tingui un pressupost molt just per fer política forestal i, si no hi ha partides de diners disponibles, les tales no s'efectuen. Com que els ajuntaments necessiten l'entrada de diners que obtenen amb la tala, reclamen poder talar alguns rodals. Per exemple, recentment, els ajuntaments de Farrera i de la Vall de Cardós reclamaven que es talés algun bosc per disposar de finançament per arreglar pistes. Com que no es disposa de pressupostos adequats, es va plantejar de talar uns avets monumentals vora la carretera, amb accés fàcil i sense la necessitat d'obrir camins de desembosc. Davant d'aquesta proposta, els habitants de la zona van mirar la manera de salvar un patrimoni valuós, i van demanar a la Fundació Territori i Paisatge que intervingués en la subhasta. La Fundació va comprar els drets de tala, amb la qual cosa els ajuntaments van poder disposar d'una entrada de diners i, evidentment, els arbres han romàs en peu. S'ha pogut conservar un patrimoni natural de molt valor i alhora s'han cobert les necessitats pressupostàries dels ajuntaments.

La compra de drets de tala també la fem en rodals de boscos molt madurs dels Pirineus. Per identificar els boscos interessants, usem indicadors com, per exemple, la presència del mussol pirinenc. És una espècie que habita en troncs d'arbres vells de pi negre i menja talpons, característiques indicadores d'un bosc madur.

Col·laborant amb la Fundació CBD-Habitat es van començar alguns projectes fora de Catalunya. Per exemple, a Andalusia, hem comprat drets de caça del conill i la perdiu, en una estratègia per afavorir el linx ibèric (una espècie endèmica de la península Ibèrica i, per tant, del món). La major part dels darrers cent cinquanta linxs que queden a la Península viuen en finques de caça major. Nosaltres vam comprar en subhasta els drets de caça de conill i perdiu, però no els exercitem, de manera que són els linxs els que es beneficien d'aquesta disponibilitat de preses i així poden augmentar la població. Es tracta d'un pas més en l'esperança que aquest felí no desaparegui. A través del procediment d'entrar a la subhasta, vam poder accedir a aquests vedats, que eren molt tancats i els propietaris dels quals tenien males relacions amb l'Administració i els ecologistes.

A Catalunya treballem en la custòdia del territori de l'àguila cuabarrada. Des de la Fundació Territori i Paisatge hem ajudat entitats, com SEO/Birdlife, a fer convenis de custòdia del territori amb propietaris que tenen finques de cria o de caça de l'àguila cuabarrada. De tota manera, tot i que en un primer nivell es tracta de la custòdia de l'àguila, amb aquest pretext s'aconsegueix recuperar els hàbitats de prats i conreus en benefici del paisatge i la biodiversitat de la zona.

La custòdia del territori és un concepte que s'ha d'anar consolidant. La custòdia comprèn tots aquells mecanismes que han de fer que els propietaris particulars o els ajuntaments tinguin maneres de poder conservar el territori. Una persona propietària d'un tros de país té a les seves mans poder fer molt més per a la conservació que les persones que no ho són. El propietari ajuda a mantenir el paisatge i la seva biodiversitat. Ara que molts boscos ja no rendeixen, el manteniment de les finques es fa difícil i la gestió no està pagada ni reconeguda. Amb la custòdia es busquen sistemes de compensar els propietaris mitjançant desgravacions fiscals per tal que puguin gestionar a llarg termini. La iniciativa de la Xarxa de Custòdia del Territori està específicament orientada cap a la gestió i la custòdia del territori.

### **Sobre la Xarxa de Custòdia del Territori**

La Xarxa de Custòdia del Territori es va fundar el 6 de març de 2003 amb el suport de la Universitat de Vic, la Fundació Territori i Paisatge i el Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat. La implicació d'aquestes institucions no ha estat senzillament donar un pressupost per treballar, sinó bastir ponts, establir aliances i treballar vers objectius comuns. Es va començar amb un treball en xarxa de 49 organitzacions i persones membres. A l'inici hi havia 34 entitats de custòdia en funcionament, 114 acords de custòdia i 74.605 ha custodiades a Catalunya i les illes Balears. Amb data actual (27 de febrer de 2006), s'ha passat a 98 organitzacions, corresponents a àmbits molt diversos, com ajuntaments, associacions, fundacions, consorcis, empreses consultores vinculades a la conservació i algunes persones a títol individual.

De què parlem quan parlem de custòdia? La definició més concisa seria la del nostre lema: «persones que tenen cura de la terra». Es tracta de fer un treball conjunt entre propietaris, entitats i administracions, com a procés educatiu de coneixement i aprenentatge i intercanvi a l'hora de plantejar una gestió que prevegi la conservació. Es tracta d'una estratègia compatible amb el fet d'obtenir una rendibilitat de les finques, buscant d'implicar els propietaris, els usuaris (pagesos, caçadors,

pescadors) i l'administració de la Generalitat amb l'objectiu d'aconseguir la conservació i el bon ús dels recursos naturals, culturals i paisatgístics. La Xarxa de Custòdia del Territori seria una organització paraigua per impulsar el desenvolupament i l'ús de la custòdia. La Xarxa de Custòdia del Territori no fa acords amb propietaris privats o públics sinó que promou que les seves organitzacions membres ho puguin fer. La Xarxa de Custòdia del Territori se centra en els àmbits següents: difusió ciutadana, informació tècnica, formació i capacitació, suport i treball en xarxa i impuls social de R + D per a la custòdia.

### **Com s'aplica la custòdia?**

A partir de la sensibilització del públic, es va cap a la creació de mecanismes d'acord entre propietaris, usuaris i entitats de custòdia. Per exemple, quan la Fundació Territori i Paisatge aposta per la conservació comprant uns drets de tala, ha de poder disposar d'uns mecanismes fermes i fiables que assegurin aquest compromís en el marc jurídic. Evidentment, és primordial aconseguir acords de custòdia per a la bona gestió i protecció de terrenys. Es promou el suport i l'assessorament a propietaris i ajuntaments d'indrets amb valor, en un treball fent costat a l'administració local. Quan l'entitat té mitjans econòmics i alhora els terrenys tenen un gran valor, les entitats de custòdia poden aconseguir la propietat del terreny mitjançant la compra o donacions. En altres casos, les entitats de custòdia ajuden a planificar, restaurar i gestionar els indrets quan així s'ha pactat amb el propietari, organitzen activitats d'educació i sensibilització ambiental en relació amb els projectes de custòdia i conservació dels terrenys que gestionen, i també organitzen activitats de voluntariat ambiental com a peça important de divulgació i de reconeixement social. Evidentment, també cal anar estudiant quins llocs poden ser interessants, és a dir identificar les zones prioritàries. A més a més, i a vegades de forma imprescindible, cal promoure una activitat econòmica sostenible als terrenys de la custòdia. Finalment, s'organitzen campanyes i accions de captació de fons que permetin tirar endavant les iniciatives que les organitzacions porten a terme.

Si ens fixem en algunes dades sobre les fórmules d'acord, veiem que el 63 % dels acords de custòdia s'han fet amb propietats privades, i el 71 % s'han fet fora d'espais naturals protegits per la legislació o per les polítiques públiques, cosa que reforça la complementarietat entre totes dues estratègies. La custòdia no substitueix els mecanismes tradicionals de conservació des de les administracions públiques, sinó que els complementa, sobretot quan la custòdia actua fora dels espais naturals. S'ha



de veure la custòdia com una estratègia per a la conservació, com n'hi ha d'altres.

Fixant-nos ara en l'inventari per a l'any 2004 de l'anuari d'entitats catalanes ambientals que publica el Centre UNESCO de Catalunya (amb la col·laboració de la Fundació Territori i Paisatge), hi trobem les dades següents: actualment hi ha a Catalunya unes 75 entitats de la societat civil, sense ànim de lucre i de caràcter privat, dedicades a l'estudi del medi natural i la biodiversitat; n'hi ha 57 que declaren dedicar-se a la recuperació i la gestió d'espais naturals; 51 es dediquen a l'ordenació del territori (segons la classificació d'aquest anuari, es tractaria de les entitats clàssiques de defensa i reivindicació de la conservació del territori); hi ha unes 25 entitats dedicades a l'estudi dels ecosistemes aquàtics; 24 que diuen dedicar-se als boscos, incendis forestals i reforestació; 3 de dedicades a la custòdia del territori (mentre que la Xarxa de Custòdia del Territori n'identificaria unes 38), i només una entitat declara dedicar-se a la conservació (justament és la Fundació Territori i Paisatge). Una sola entitat declara dedicar-se a la protecció del medi natural. Les entitats que es dediquen a la conservació del patrimoni cultural (unes 20 a Catalunya) coincideixen sovint en objectius de conservació del patrimoni natural. També caldria pensar si hi ha entitats dedicades a la conservació del paisatge en el sentit estricte del terme. En resum, estem parlant d'un 150 organitzacions que es dediquen a la conservació del territori des de la societat civil a Catalunya, de les quals unes 130 estarien dedicades a la conservació de la natura.

Unes altres dades obtingudes d'aquest anuari, elaborades per Josep Germain i basades en 110 entitats ambientals (segons l'Anuari 2003), indiquen que el 49 % d'aquestes entitats tenen menys de cent socis. Són, doncs, organitzacions molt petites. L'entitat més gran és Greenpeace, amb disset mil socis. A l'altre extrem en trobem de modestíssimes, amb quatre socis. Hi hauria unes cinquanta mil persones associades en aquests tipus d'organitzacions. Aquesta, malgrat semblar una bona xifra, és molt modesta comparada amb els 3,5 milions de membres del National Trust al Regne Unit. El 77 % dels associats es concentren en vint associacions. En total, aquestes organitzacions gestionen uns 4-5 milions d'euros anuals; repartint-ho entre les entitats, obtenim un pressupost de 36.000-40.000 euros /any per a cadascuna, excloent-ne les grans entitats com la Fundació Territori i Paisatge. Algunes d'aquestes organitzacions tenen personal professional contractat (d'una a deu persones), però la majoria no tenen personal remunerat. Aproximadament un 50 % d'aquestes es beneficien d'un voluntariat organitzat en programes concrets. Si comparem aquestes dades amb les d'altres països, com el National Trust,

que té un pressupost de 462,4 M euros/any i els esmentats 3,5 milions de membres, o el Natuurmonumenten, dels Països Baixos, amb un pressupost de 98,9 M euros/any i més d'un milió de membres, ens adonem que estem a anys llum de distància.

Com ens hem de plantejar el futur? Si volguéssim apropar-nos als models europeus que ens serveixen de referent, hem d'intentar que les organitzacions siguin sòlides en estructura i funcionament, que la planificació estratègica i la qualitat siguin conceptes habituals en els objectius de les entitats de conservació. Les entitats s'han de reforçar respecte de com estan ara, i una manera de fer-ho és assolint una certa concentració, ja que ara tenim una gran quantitat d'organitzacions petites. S'ha de plantejar el seu funcionament sobre la base d'una cultura organitzativa dinàmica i positiva. S'ha d'innovar i mirar cap enfora. La qüestió de professionalitzar aquestes entitats és bàsica si es vol seguir treballant: cal veure la professionalització com una inversió necessària per assolir la maduresa. S'ha de veure la importància de la comunicació i el màrqueting, puntals en aquest procés perquè ens fa la sensació que potser no ho estem explicant prou bé als ciutadans. I també cal exigir més a l'Administració: el funcionament ordinari d'aquestes entitats hauria de tenir un marc de relació més transparent amb les administracions. No hauria de ser tan difícil com ho és actualment assegurar el finançament adequat del funcionament ordinari i a llarg termini de les activitats de conservació, una funció que complementa la de les polítiques públiques. Estem de sort que hagi sortit una iniciativa com la Fundació Territori i Paisatge que, a més, ha arrossegat altres iniciatives d'obra social de caixes d'estalvi, però cal aconseguir més finançament de fundacions i empreses privades per millorar en comparació amb altres països europeus. Hem de treballar en pro d'una fiscalitat favorable a la conservació de la natura i de beneficis per a la propietat que s'hi implica. Moltes d'aquestes demandes es poden aconseguir, es van fent nous passos i gradualment van sorgint oportunitats concretes per a la seva realització. Finalment, volem destacar que el treball en xarxa/xarxes és important per crear aliances i per a l'eficàcia del treball, ja que s'aconsegueixen millor els objectius que anant per separat.

### **El reconeixement social de la custòdia**

Per obtenir un reconeixement social del que s'està fent, hem d'aconseguir que la societat conegui, valori i participi en la conservació, entenent per societat la ciutadania, els agents socials, les entitats civils, les empreses, els sindicats i les associacions. I també, les institucions de mecenatge,

patrocini i finançament (fundacions públiques i privades, obres socials, institucions financeres i de crèdit...), i les administracions a tots els nivells.

Hem de treballar d'una manera clara i concreta per obtenir resultats. Això no passarà de la nit al dia. Si partim d'entitats de custòdia públiques i privades, que es professionalitzen, creen llocs de treball, tenen capacitat de recaptar fons, participen de manera més activa contribuint en polítiques públiques i establint aliances, per aquest camí segur que tindrem cap al reconeixement i la valoració de la custòdia en la societat.

La sort que té el moviment de la custòdia del territori és el fet d'haver creat una xarxa que té com a objectiu prioritari aconseguir el reconeixement global del moviment. En aquest moment (28 de febrer de 2006), a la Xarxa de Custòdia del Territori estem iniciant els treballs que han de portar a un nou pla estratègic (pla director 2007 de la Xarxa de Custòdia del Territori), on es recullen els compromisos i acords amb les entitats per marcar la línia del que volem fer. Per reforçar i capacitar les entitats de custòdia, estem acabant de posar en marxa la Caixa d'Eines per a les entitats de custòdia. Estem plantejant també noves estratègies de finançament de la custòdia que inclouen els aspectes de fiscalitat i altres eines financeres, i estem preparant el terreny per tal que entitats amb més capacitat puguin actuar amb eines més modernes i innovadores. També estem posant en marxa el Mercat de Custòdia del Territori, que ha de servir per potenciar els temes d'activitat econòmica vinculats a la conservació. I, com a acció que fem una vegada cada dos anys, projectada clarament envers la societat, estem organitzant la II Setmana de la Custòdia del Territori, del 29 de setembre al 8 d'octubre de 2006. En aquestes jornades s'han programat activitats i actes divulgatius organitzats per totes les entitats.

## Les migracions humanes en l'antiguitat: llicons per al dia d'avui

Dr. Xavier Aquilué

Director del Museu d'Arqueologia de Catalunya-Empúries

El concepte de migració, en qualsevol diccionari, el trobem definit com «el moviment d'un conjunt d'individus d'un territori a un altre per assentar-se». És a dir, el concepte deixa clar que es tracta d'una migració quan un grup de persones establert en un lloc concret marxa d'aquest lloc per establir-se en un altre.

Quan podem parlar de migracions tal com ho entenem avui en dia? Bàsicament, i gràcies a estudis de caire arqueològic i antropològic, sabem que en el paleolític inferior es van formar els grups humans predecessors de l'*Homo sapiens sapiens* (fa uns 3-2,6 M d'anys) i que aquests grups humans estaven focalitzats en certes zones de l'Àfrica (*Homo habilis* i *Australopithecus*) i a la península Ibèrica, fa un milió d'anys, a la zona d'Atapuerca (*Homo antecessor*). Aquests grups humans no estaven establerts en un territori concret. Des del punt de vista històric, només es pot començar a parlar de migració quan les comunitats humanes deixen el nomadisme i s'estableixen sedentàriament tot organitzant-se i mostrant una identificació cultural amb el territori que ocupen. Això sorgeix en el neolític (7000-6500 aC) en zones de Mesopotàmia. A partir d'aquí, la innovació va irradiar cap a la Mediterrània, on es detecta a partir del 6000 aC. Quan es produeix el sedentarisme, amb grups assentats al territori i amb consciència del territori, es pot començar a parlar de moviments migratoris. Els corrents migratoris apareixen, doncs, a partir del neolític.

La migració és un fenomen del qual trobem exemples a l'antiguitat clàssica i en qualsevol època històrica (medieval, moderna, contemporània). Aquí presentarem una visió dels moviments migratoris en l'antiguitat clàssica i limitats a la Mediterrània.

Una obvietat és que les causes d'aquests moviments migratoris es produeixen per motivacions econòmiques. En els exemples que analitzarem, veurem que totes les causes, tant de moviments col·lectius com

individuals, tenen l'origen en raons de tipus econòmic, i que moltes d'aquestes causes són perfectament comparables amb els moviments migratoris actuals. Tot i així, per analitzar les migracions a l'antiguitat tenim molts buits d'informació i una manca significativa de dades quantitatives i demogràfiques. En un estudi recent amb dades de la població mundial de 2005, dels 6.500 milions de persones del planeta, 191 milions (aproximadament el 3 %) són emigrants, i els estudis demogràfics d'Espanya han determinat que, entre l'any 1990 i el 2005, han entrat al país uns quatre milions d'emigrants. Aquest tipus de dades no el tenim a les societats antigues i, per tant, les conclusions que es poden extreure de les informacions de què disposem són limitades. No obstant això, els exemples que veurem a continuació ens mostren que els fenòmens migratoris de l'antiguitat clàssica són produïts per motivacions similars a les que podem trobar actualment al segle XXI.

Com ja se sap prou bé, gran part de la nostra cultura està basada en la cultura grega i romana, i tenim diverses informacions sobre moviments migratoris d'aquelles societats.

Així, en el període arcaic d'època grega (segles VIII-VII aC) es va produir la primera onada colonitzadora de les ciutats-estat gregues, que impliquen la creació de nous assentaments de tipus agrícola a la Mediterrània per instal·lar-hi els excedents demogràfics i solucionar la manca de terres i, per tant, de recursos econòmics de les zones d'origen. Un excedent de la població autòctona, sense accés a la terra, font de la producció i la riquesa, va forçar aquests moviments migratoris, que van portar a la creació de noves ciutats (*apoikia*). Des de les diferents *poleis* gregues, es va efectuar una sèrie de moviments colonitzadors en diferents direccions de la Mediterrània, principalment cap a la Mediterrània central i cap a la mar Negra. Així, entre el 750 i el 650 aC, els grecs de Calcis van fundar Cumes, després Neàpolis, al sud d'Itàlia, i Naxos, Zancle, Règion i Himera a Sicília i a la Magna Grècia. Els grecs de Mègara van crear Mègara Hiblea i els de Corint, Siracusa. Els grecs de Milet i Mègara van crear colònies a la mar Negra. Els grecs de Tera van fundar Cirene, a l'actual Líbia.

Aquesta etapa va ser seguida d'una segona colonització (entre el 650 i el 550 aC), la raó de la qual va ser principalment comercial. Es van fundar *emporía* (mercats), uns assentaments totalment diferents dels esmentats anteriorment, amb la finalitat de crear i consolidar rutes comercials. Els grecs van fundar colònies comercials en diferents sectors de la Mediterrània. Per exemple, les ciutats de Milet i Mègara van crear els *emporía* de la mar Negra d'Òlbia, Ístria i Heraclea del Pont; la ciutat de Focea va crear els *emporía* de la Mediterrània occidental de Massàlia,

Àgatha, Alalia o Empòrion; la ciutat de Milet va fundar Naucratis a Egipte. Als *emporía*, s'hi van instal·lar grups de nouvinguts de les ciutats d'origen que van establir diferents processos de pactes amb les comunitats indígenes assentades al territori. En el cas dels *emporía*, sabem que es van constituir amb uns ritus fundacionals que sempre tenien en compte l'element indígena. A Empúries mateix s'ha vist molt bé que l'enclavament de la *Palaiapolis* (l'actual nucli de Sant Martí d'Empúries), on es va produir el primer assentament grec d'*Emporion* cap al 575 aC, era ocupat per una població indígena des del segle VII aC. Els indígenes ja havien establert contactes amb els mercaders orientals i l'assentament comercial grec es va produir amb un pacte amb la població local. De fet, les excavacions arqueològiques han demostrat que la factoria foceo-massoliota d'*Emporion* es va instal·lar directament damunt del poblat indígena sense cap hiatus temporal entre l'una i l'altra. És clar que l'assentament es va produir en un procés de pacte, que respectava tant els interessos dels comerciants grecs com els de les poblacions indígenes. Aquests *emporía* arreu de la Mediterrània van ser assentaments extraordinàriament importants, ja que van tenir conseqüències clares d'aculturació. Els pobles indígenes en contacte amb els assentaments grecs van rebre tota una sèrie d'influències i d'intercanvis culturals que van transformar amb el temps la seva pròpia cultura inicial. Es tractaria, en resum, de fenòmens de migració amb processos d'aculturació de les poblacions indígenes sense anul·lar la personalitat i la cultura de les societats locals.

Però no només tenim documentades en època grega les migracions de grups humans de les ciutats-estat a altres zones de la Mediterrània, per qüestions de poblament o de comerç, com hem vist, sinó que també estan documentades les migracions entre les mateixes ciutats-estat de Grècia. Aquestes migracions també tenen motivacions de tipus econòmic. Així, per exemple, en el segle VI aC, les reformes de Soló d'Atenes van tenir com a finalitat que l'economia de la ciutat no depengués exclusivament del conreu de la terra i facilités la creació d'estructures econòmiques vinculades al comerç i l'artesania. D'aquesta manera, van immigrar a la ciutat d'Atenes diversos artesans i comerciants d'altres ciutats-estat, tal com va succeir amb ceramistes de la ciutat de Corint que es van instal·lar a la ciutat.

També sabem que, en època grega, aquestes migracions de ciutadans grecs no sempre van ser voluntàries. A Sicília o a la Magna Grècia hi va haver desplaçaments forçats de ciutadans per motius polítics. Així, per exemple, a inicis del segle V aC (494 aC), diferents contingents de samnites i milesis van ser obligats a traslladar-se a la ciutat de Zancle amb la finalitat que la ciutat depengués políticament de Règion i no de Gela.

Un cop la ciutat va dependre de Règion, el tirà Anaxilau de Règion en va fer fora els samnites i els milesis, en una forma clara d'utilització de grups socials per a polítiques conjunturals del moment. Un altre exemple n'és el de la creació d'una nova ciutat per raons polítiques amb ciutadans obligats d'altres ciutats, com va succeir amb la nova ciutat d'Etna, fundada pel tirà Hieró de Siracusa l'any 475 aC, amb ciutadans procedents de diverses *poleis* de Sicília (Naxos, Catània, Siracusa).

El cas de Roma és encara més clar en relació amb els processos de migració i aculturació. L'expansió militar romana pel Mediterrani va ser deguda a campanyes amb l'objectiu principal de conquerir el territori per establir-hi assentaments per als veterans de l'exèrcit romà. Va ser un procediment per facilitar als excedents demogràfics que a Itàlia no tenien cap recurs econòmic l'accés a la propietat de les terres. Primerament, els soldats romans i itàlics servien l'exèrcit. Un cop llicenciats, s'instal·laven en colònies de nova fundació, on se'ls adjudicava un lot de terres del territori adscrit a la ciutat, dins de les noves províncies. Aquestes ciutats, a poc a poc, van entrar a formar part de la República Romana i, posteriorment, de l'Imperi Romà. Un exemple d'aquesta dinàmica el tenim en la península Ibèrica. A mesura que els romans incorporaven els territoris conquerits a la seva estructura política i econòmica, es produïa també una aculturació de les societats conquerides (l'anomenada romanització).

És clar que els processos de conquesta i les migracions dels itàlics als territoris conquerits no van ser els únics moviments de població en aquest període. Roma, en la seva expansió militar i política, va provocar la deportació massiva dels pobles conquerits. Així, per exemple, durant la conquesta de la Ligúria, l'any 180 aC, Titus Livi ens informa que tota la població ligure (47.000 ligurs amb les seves dones i fills) va ser deportada i instal·lada a l'*ager publicus* del Samni, on van rebre bones terres de cultiu i van restar sota el control de diferents assentaments de veterans romans (*coloni*). A la mateixa península Ibèrica, un cop finalitzades les guerres contra els lusitans (154-137 aC), Roma va fer deportar una gran part de la població lusitana i la va fer assentar en una nova ciutat anomenada *Valentia* juntament amb altres contingents humans provinents d'Itàlia.

Un altre exemple de les deportacions forçoses efectuades per Roma són les de les campanyes militars contra els pirates assentats a la Cilícia, esdevingudes l'any 67 aC. Pompeu va acabar amb aquests assentaments de pirates i va garantir i estabilitzar el comerç marítim de la Mediterrània. Una vegada vençuts, sabem per les fonts escrites que unes vint mil persones d'aquests assentaments pirates van ser traslla-

dades a diferents indrets de l'Anatòlia, del Peloponès, del sud d'Itàlia i del nord d'Àfrica.

Un exemple de gran rellevància històrica és el de la destrucció de Jerusalem, a Judea, els anys 70 i 132-135 dC. L'inici de la diàspora del poble jueu es va produir amb la presa de Jerusalem per Nabucodonosor II i la primera deportació de jueus a Babilònia. Després d'entrar a formar part de l'Imperi Romà, els jueus havien protagonitzat diversos aixecaments des de l'any 66, però Titus, fill de l'emperador Vespasià, hi va posar fi. Aquest oficial va assetjar Jerusalem i en va destruir el temple. Els jueus, derrotats, van ser venuts com a esclaus per totes les províncies de l'Imperi. Encara, però, van quedar prou jueus a la zona per recuperar la seva força, i els anys 132-135 van tornar a aixecar-se contra els romans i van desencadenar una terrible guerra. Els supervivents van ser dispersats des d'Àrabia fins al nord d'Àfrica i per la resta de l'Imperi. La voluntat política de Roma respecte d'aquest poble va ser la seva dispersió i la seva desintegració total dins les unitats polítiques de l'Imperi.

També tenim documentat a bastament per l'epigrafia, tant en època grega com romana, el fet que es van produir moviments migratoris de persones individuals durant tota l'antiguitat. Hi ha evidència de persones que es bellugaven per tota la Mediterrània per motius econòmics o pels seus oficis. A Tàrraco, per exemple, l'epigrafia ens documenta l'existència d'una quantitat important d'immigrants procedents d'altres ciutats, a més dels propis de la ciutat. Eren persones lliures, capaces de deixar constància escrita de la seva procedència a través dels elements funeraris o honorífics (no eren esclaus). A Tàrraco, l'epigrafia dels segles I, II i III dC ha documentat la presència de diversos immigrants a la ciutat, tant militars procedents d'Itàlia (*Mevania*, *Albintimilium*), de la Gàl·lia (*Nemausus*, *Narbo*), de l'Àfrica (*Sicca* i *Veneria*), de la Pannònia (*Poetovio* i *Emona*), de la Tarraconense (*Toletum*, *Asturica Augusta*, *Segisama*), de la Bètica (*Italica*) i de la Lusitània (*Emerita*), com civils procedents de la Tarraconense (*Barcino*, *Saguntum*, *Ilerda*), d'Itàlia (*Roma*, *Pisarum*), de la Dalmàcia, de Grècia, de l'Àfrica (*Leptiminus* i *Cirta*) o d'Egipte (*Pitermo*).

Finalment, per posar-ne altres exemples i per trencar els esquemes que es mantenen en la historiografia, parlem ara del final de l'Imperi Romà. Sempre s'ha dit que van ser les invasions dels pobladors germànics les que van acabar amb l'Imperi Romà. Avui sabem que això no és cert. Els qui estudiem el món antic parlem de l'antiguitat tardana com el període històric que agafa el final de l'Imperi Romà fins a les primeres etapes de la invasió àrab a la península Ibèrica al segle VIII. El fet és que les migracions dels pobles germànics pretenien incorporar-se dins



l'estructura política de l'Imperi Romà, sobre el qual estaven interactuant. En veurem uns exemples.

Els gots, que procedien de Suècia i del Bàltic, cap a l'any 150 dC es van desplaçar arreu d'Europa, començant per la Germània i arribant, l'any 230, a la mar Negra. Els visigots es van assentar l'any 376 dC, per autorització de l'emperador romà Valent, a la província romana de Mèsia, al sud del Danubi. Va ser la primera vegada que es va permetre que un poble germànic entrés dins els límits de l'Imperi. Els visigots van dur a terme diverses campanyes de saqueig fins que, a partir de l'any 415, es van assentar primer al sud de la Gàl·lia i després a gran part d'Hispania. Els ostrogots es van assentar com a federats de Roma a la Pannònia a mitjan segle V, i després, l'any 488, van envair Itàlia, on s'hi van estar fins a l'any 555, quan van ser derrotats pels bizantins. Els ostrogots assentats a Roma van utilitzar les mateixes relacions comercials establertes pels romans anteriorment; per tant, malgrat la invasió, es va mantenir una continuïtat en els models d'organització.

Un altre exemple el proporcionen els vàndals, originaris de l'Europa central. L'any 406 van traspasar la frontera del Rin i van penetrar dins dels territoris de l'Imperi Romà. Es van introduir a Hispania, on van formar una confederació amb els sueus i els alans l'any 406. Una part dels vàndals, el vàndals silings, va ser derrotada pels visigots, i els vàndals asdings i els alans van passar a l'Àfrica l'any 429, on van formar un regne vàndal a la Numídia amb una població d'unes vuitanta mil persones. Aquests grups de vàndals, generalment, no van destruir els sistemes d'explotació del territori i els sistemes de producció romans, sinó que van continuar amb les mateixes estructures econòmiques.

En síntesi, els exemples que hem vist de l'antiguitat ens demostren la diversitat dels moviments migratoris i com, tant en moviments col·lectius com individuals, presenten destacables similituds amb el que trobem en el món contemporani.

Finalment he d'abordar la segona part del títol de la conferència: lliçons per al dia d'avui. Un cop fet aquest repàs de la història antiga, veiem que els moviments migratoris estan presents al llarg de tota la història. Les lliçons que ens dóna la història són moltes, però les respostes que es continuen donant davant dels fets migratoris no semblen que tinguin en compte tot aquest bagatge històric. Les migracions a l'àrea del Mediterrani han estat contínues des que tenim documentació arqueològica i històrica i la nostra realitat cultural està fonamentada en els diversos grups socials assentats al territori fruit de moviments migratoris de naturalesa diversa. Per tant, costa d'entendre com encara avui en dia hi ha un temor generalitzat per part de la nostra societat davant del fenomen migratori.

Cal pensar, també, que les migracions han estat moltes vegades conseqüència de conflictes bèl·lics que han implicat la deportació o el trasllat dels vençuts per part dels guanyadors. Al llarg de la història, s'han produït aniquilacions, genocidis o deportacions massives, com hem esmentat en alguns exemples del món antic, i que, per desgràcia, continuem veient avui en dia. També veiem que, després d'aplicar aquestes tàctiques de desplaçament dels grups humans vençuts, s'han aplicat polítiques d'integració i d'aculturació forçosa amb la finalitat d'adaptar aquests grups als models culturals de la societat dominant.

En definitiva, gran part dels exemples extrets de l'antiguitat podrien aplicar-se perfectament al dia d'avui. Canviarien els noms, canviarien les situacions, però les causes i les conseqüències serien les mateixes. La Mediterrània ha estat sempre una zona permeable, d'orient a occident i de nord a sud, i els moviments migratoris han estat sempre presents en la nostra història. Esperem que, en el futur, desapareguin les migracions provocades pels conflictes bèl·lics i que articulem unes correctes polítiques socials d'integració que facin menys traumàtica la migració de les persones.